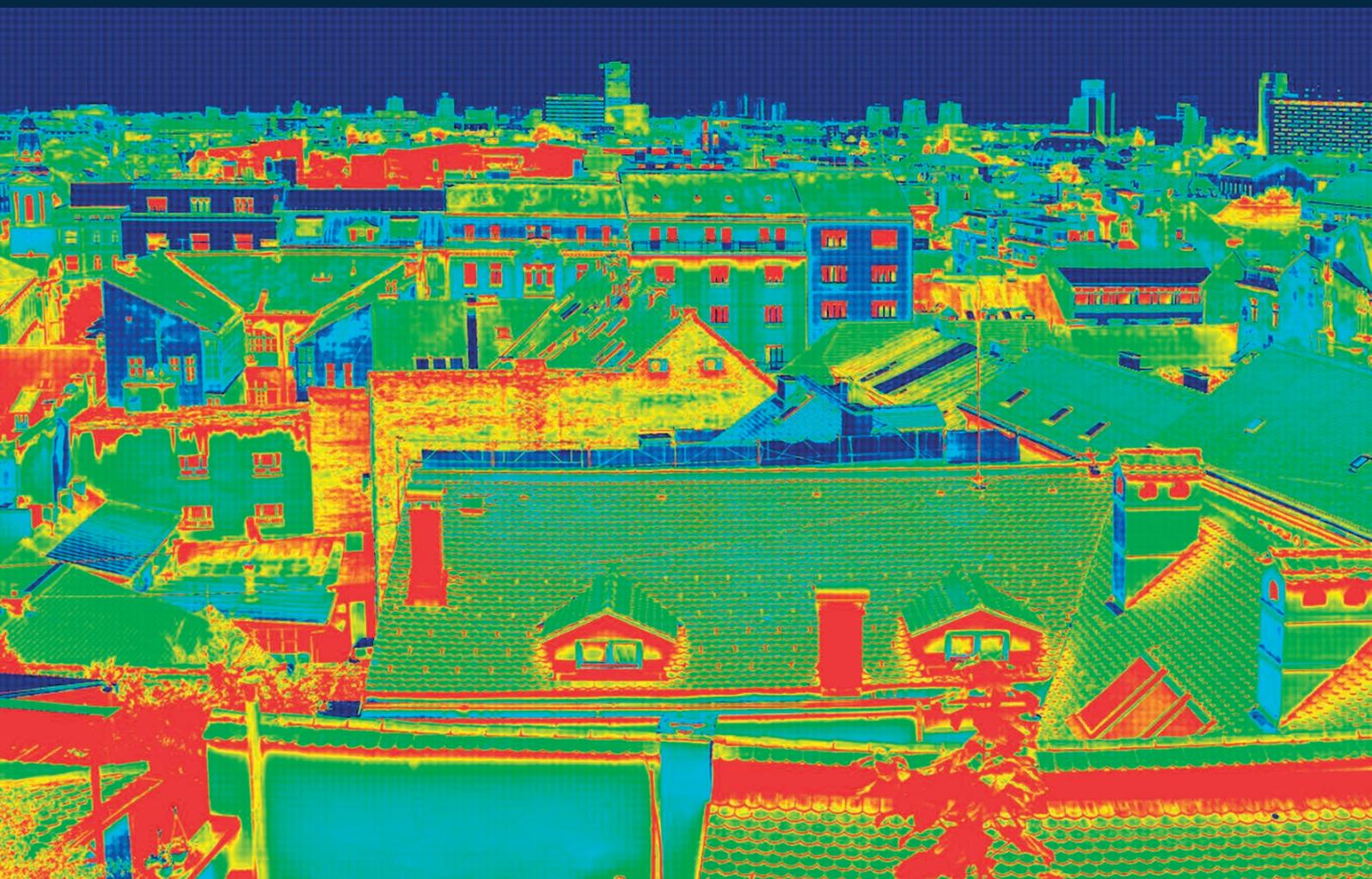


.....
GUIDE DE RECOMMANDATIONS
.....

**PRISE EN COMPTE DU CLIMAT
DANS LA CONSTRUCTION
DE LA MÉTROPOLE DE DEMAIN**



À destination des services
de Toulouse Métropole
et des aménageurs/promoteurs

toulouse
métropole

en grand !

CONTEXTE

Ce guide de recommandations est le fruit des travaux menés conjointement par le LISST et les Directions de la Réglementation urbaine et de l'Environnement de Toulouse Métropole dans le cadre du projet de recherche MAPUCE et de l'élaboration du PLUi-H et du Plan Climat énergie territorial (volet adaptation).

Il a pour vocation d'informer les services en charge de la planification et de l'aménagement urbains des enjeux climatiques et microclimatiques en milieu urbain, ainsi que de leur fournir des recommandations adaptées au territoire toulousain.

La sélection des informations climatiques (issues du projet MAPUCE, de projets antérieurs et plus généralement de l'état de l'art sur la question) vient en appui des recommandations.

L'édition et la publication de ce guide sont portées par la Métropole.

MÉTHODOLOGIE

Pour obtenir des recommandations adaptées aux enjeux du territoire toulousain, la méthode s'est déroulée en deux phases :

- **une première phase sur 3 ans (2015-2018)** de suivi des réunions de travail du groupe Climat-Énergie pendant l'élaboration du PLUi-H, d'analyse scientifique de l'information climatique et de production d'éléments cartographiques.
- **une deuxième phase** consistant en une série de réunions de préparation de **deux ateliers de co-élaboration** des recommandations avec les services de la Métropole en charge de la planification, de l'aménagement et de l'environnement.

Ces ateliers ont réuni une vingtaine d'agents représentant une dizaine de services (Plan climat, Service planification urbaine, DHOF, Direction Environnement Énergie, Direction de l'urbanisme – SPU, Direction de l'urbanisme – SAE, Direction des Espaces verts, Prospective urbaine, GEMAPI, Mobilité Gestion Réseau, Grand Projet Toulouse Aérospace).



RÉDACTEURS :

Lise Debrye (Toulouse Métropole),
Guillaume Dumas (CNRM - Toulouse Métropole),
Valérie Edouart (Toulouse Métropole),
Sinda Haouès-Jouve (LISST),
Julia Hidalgo (LISST),
Najla Touati (LISST),
Isabelle Salvi (Toulouse Métropole),
Guillaume Roques (Toulouse métropole)

CRÉATION ET RÉALISATION :

■ Studio Pastre

Janvier 2021

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence National de la Recherche portant la référence ANR-13-VBDU-0004-06



SOMMAIRE

Avant propos	3
--------------------	---

1

CLIMAT : QUELQUES CLÉS DE COMPRÉHENSION	4
--	----------

1.1 Les îlots de chaleur urbains.....	6
1.2 Le stress thermique.....	7

2

ANALYSES DES INTERACTIONS VILLE/CLIMAT	8
---	----------

2.1 Espaces sensibles	11
2.2 Espaces régulateurs.....	12
Synthèse d'enjeux microclimatiques.....	13

3

RECOMMANDATIONS	14
------------------------------	-----------

3.1 Recommandations par leviers d'actions	14
A. La végétation.....	14
B. L'ombrage.....	17
C. La forme urbaine	18
D. Les hydrosystèmes (hydrographiques et pièces d'eau).....	20
E. Les matériaux et surfaces	23

3.2 Recommandations par secteur géographique	23
A. L'octogone ou centre historique.....	23
B. Les faubourgs de première couronne	24
C. Les centres villes des communes de première couronne	25
D. Les zones commerciales et d'activité	26
E. Actions à l'échelle du grand territoire.....	27

4

OUTILS DE SUIVI MONITORING DU CLIMAT URBAIN	28
--	-----------

5

14 QUESTIONS en lien avec le micro-climat urbain et préalables à tout projet d'aménagement ou de planification urbaine	30
---	-----------

Avant-propos



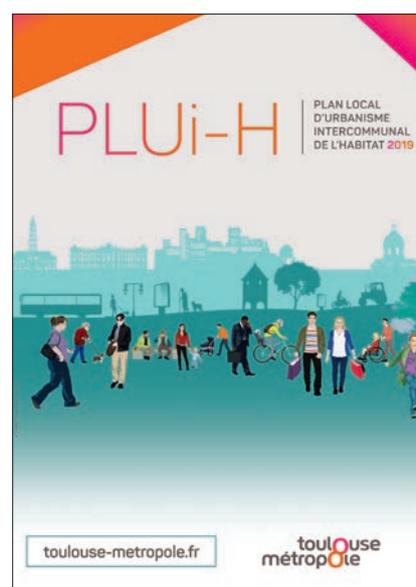
Ce guide a pour vocation d'informer les services de la collectivité en charge de l'aménagement du territoire des enjeux climatiques et microclimatiques en milieu urbain, ainsi que de leur fournir des recommandations adaptées au territoire toulousain.

Il est le fruit des travaux menés conjointement par le LISST, le service de planification urbaine et le service Plan climat de Toulouse Métropole ainsi que par l'AUAT, dans le cadre du projet de recherche MAPUCE et de l'élaboration du PLUi-H de Toulouse Métropole.

La lutte contre le changement climatique et l'adaptation à celui-ci sont devenues des objectifs explicites des Plans Locaux d'Urbanisme depuis les dernières évolutions réglementaires, au même titre que la maîtrise de l'énergie, la lutte contre la régression des surfaces agricoles et naturelles ou la préservation de la biodiversité.

Lors de l'élaboration du PLUi-H (2015-2018), un groupe de travail thématique « Climat - Énergie » a ainsi travaillé sur l'intégration de ces enjeux dans ce document d'urbanisme, sur la base notamment d'analyses scientifiques et de l'information climatique disponible.

La lutte contre le changement climatique et l'adaptation à celui-ci sont devenues des objectifs explicites des Plans Locaux d'Urbanisme.





Ainsi, le PLUi-H de Toulouse Métropole intègre les enjeux climatiques dans différentes échelles spatiales (métropolitaine - communale - quartier - bâtiment), et temporelles (tendances climatiques à long terme et phénomènes météorologiques de courte durée). Lors de l'élaboration du PLUi-H, un mémento « climat » a également été élaboré pour faciliter l'intégration des enjeux climatiques dans les OAP (Orientations d'Aménagements et de Programmation) par les pilotes de ces projets urbains.

En outre, deux ateliers de partage de ces enjeux et de co-élaboration de recommandations ont été organisés avec les services de la Métropole en charge de la planification urbaine et de l'environnement. Ces ateliers ont réuni une vingtaine d'agents représentant plusieurs directions (habitat et foncier, opérations d'aménagement, jardins et espaces verts, mobilités gestion réseau, grands projets, etc.).

L'ensemble de ces travaux et outils ont ainsi permis de construire ce guide qui présente des éléments de diagnostic climatique (issus du projet MApUCE, de projets antérieurs et plus généralement de l'état de l'art sur la question) et les recommandations qui en découlent.

Le PLUi-H de Toulouse Métropole intègre les enjeux climatiques dans différentes échelles spatiales et temporelles.

1

CLIMAT : QUELQUES CLÉS DE COMPRÉHENSION

Sur le territoire français, il existe une grande variabilité climatique qui se décline en fonction de la situation géographique et de la topographie. Les catégories habituellement utilisées sont les climats océanique, méditerranéen, semi-continentale, montagnaux, ainsi que des régimes mixtes qui présentent des formes dégradées des catégories de climat précédentes.

Les villes du Sud de la France présentent, comparativement à celles se trouvant plus au Nord, un climat plus doux qui peut néanmoins être sévère en été avec de hautes températures, de jour comme de nuit. De plus, du point de vue de l'évolution du climat à long terme, on s'attend avec une forte probabilité sur toute la France et en particulier sur le bassin méditerranéen, à une hausse des températures minimales et maximales ainsi qu'à la hausse de la fréquence, de la durée et de l'intensité des épisodes extrêmes, dont les vagues de chaleur.

À l'échelle locale, ces tendances ont été également confirmées par le profil climatique de la Métropole établi en 2015 et actualisé en 2017 par Météo France. Il présente une analyse du climat passé et des projections du climat futur sur la base des modélisations numériques du climat.

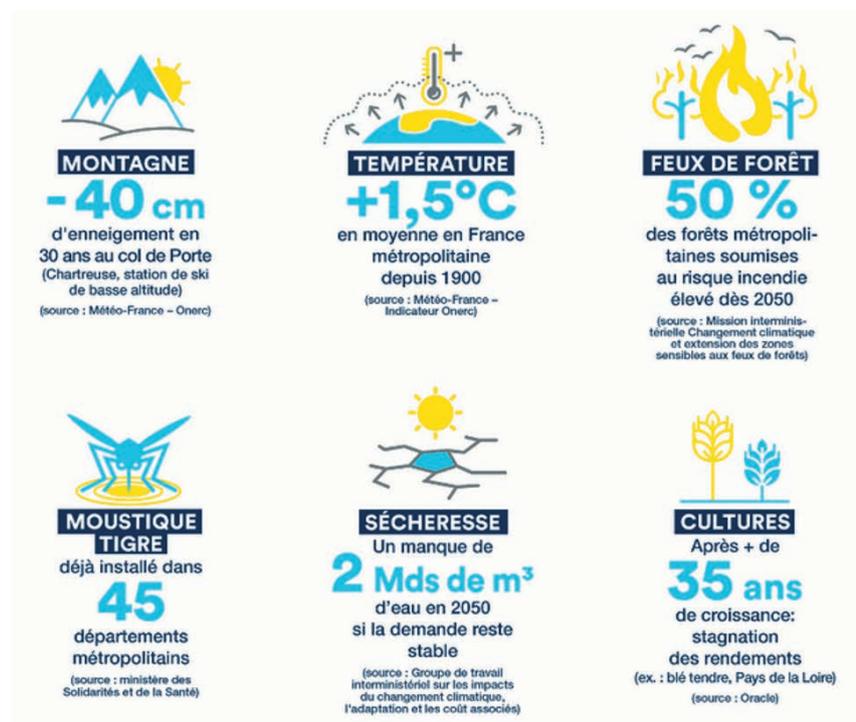


Figure 1. Impacts déjà visibles et à venir du changement climatique (www.ecologie-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc)

À Toulouse,
la température
moyenne annuelle
a augmenté de 1,2°C
depuis 1990

À Toulouse

En terme d'évolution observée, la température moyenne annuelle a déjà augmenté de 1,2°C avec une **hausse marquée des températures** à partir du milieu des années 1990 (2003, 2011 et 2014 furent particulièrement chaudes). Si l'on regarde l'évolution des températures saisonnières, ce réchauffement est très net pour le printemps, l'été et l'automne. Du point de vue des **précipitations, il y a peu ou pas d'évolution**, mais la hausse des températures favorise l'évaporation et les étendues touchées par la sécheresse sont en progression avec **l'augmentation des périodes de sol sec**. Les précipitations sont concentrées sur des périodes et le nombre de jours très froids a tendance à diminuer.

Les enjeux

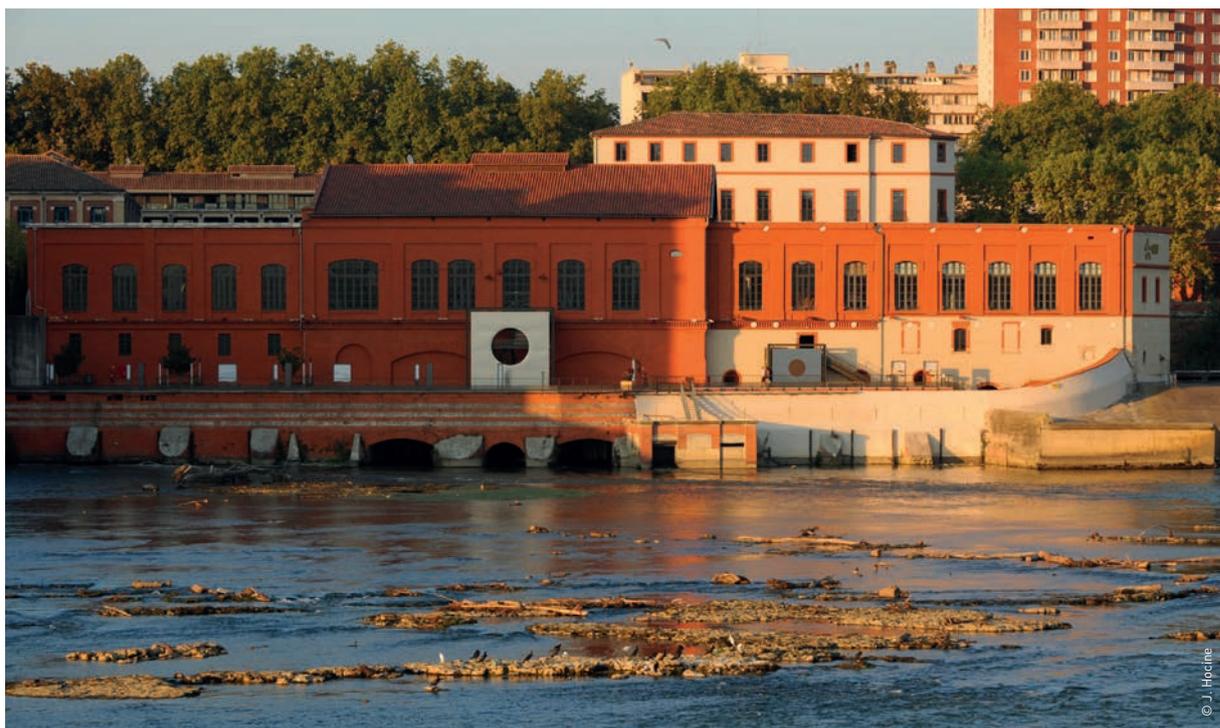
Les enjeux pour la Métropole sont de minimiser la contribution de l'urbanisation à l'îlot de chaleur urbain et ainsi réduire les vulnérabilités des populations (santé) et des activités (ressources, risques) pendant les vagues de chaleur. La préservation et la gestion optimisées de la ressource en eau est également un enjeu majeur de notre territoire.

Impact

- ↗ l'intensité de l'ICU et du stress thermique en journée
- la pollution de l'air, la qualité intérieure de l'air et ses effets sur la santé
- ↗ les consommations d'eau et d'énergie
- ↗ le risque d'inondation par ruissellement et le risque de retrait gonflement des argiles

Synthèse du profil climatique de la Métropole (Météo France 2017)

- ↗ de 4 à 6°C de plus en ville à l'horizon 2071-2100
- ↗ de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur
- ↗ de la période de sols sec
- précipitations concentrées sur de courtes périodes



À peu près une dizaine de situations météorologiques avec des températures, direction et intensité du vent et pluviométrie particulières, caractérise le climat du territoire toulousain.

Afin de traiter la problématique de stress thermique estival, l'analyse s'est focalisée sur les situations propices soit à des fortes températures journalières (A), soit au développement d'un îlot de chaleur nocturne conséquent (B), soit aux deux (C).

A Jour typique d'été bien ensoleillé avec vent du Sud-Est (environ 22% des jours d'été).

C'est un type de situation météorologique dont la température peut atteindre les 40°C. Elle est caractérisée par une grande différence de température entre le jour et la nuit et un vent de Sud-Est persistant mais faible.

B Jour typique d'été bien ensoleillé avec vent du Nord-Ouest (environ 37% des jours d'été).

Bien que présent aussi pendant les autres saisons, c'est le type de situation la plus fréquent en été. La température reste relativement élevée en été mais elle est plus douce que dans la situation précédente. La température maximale est d'environ 30°C.

C Jour ensoleillé, très chaud en été, avec vent du Nord-Ouest (environ 22% des jours d'été).

C'est également un type de situation météorologique très fréquente. En été, la température peut grimper jusqu'à 40°C. Ce type de situation est très favorable à la formation d'un îlot de chaleur nocturne sur le territoire.

1.1 Les îlots de chaleur urbains (ICU)

L'îlot de chaleur urbain est défini par la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes à une heure donnée. **L'ICU nocturne moyen** à Toulouse varie entre **2 et 4°C** mais il peut atteindre **6°C sous certaines situations météorologiques favorables à sa formation**. Il est plus étendu et intense au cours de l'été et de la saison hivernale que dans les intersaisons.

En journée, les surfaces artificialisées accumulent de l'énergie (**haut-droit**) puis la restituent durant la nuit (**bas-droit**).

Les espaces végétalisés, par évapotranspiration, transforment une grande partie de la chaleur reçue (**haut-gauche**) et ne rejettent donc rien la nuit (**bas gauche**).

C'est pour cela que l'intensité de l'ICU est maximale pendant la nuit.

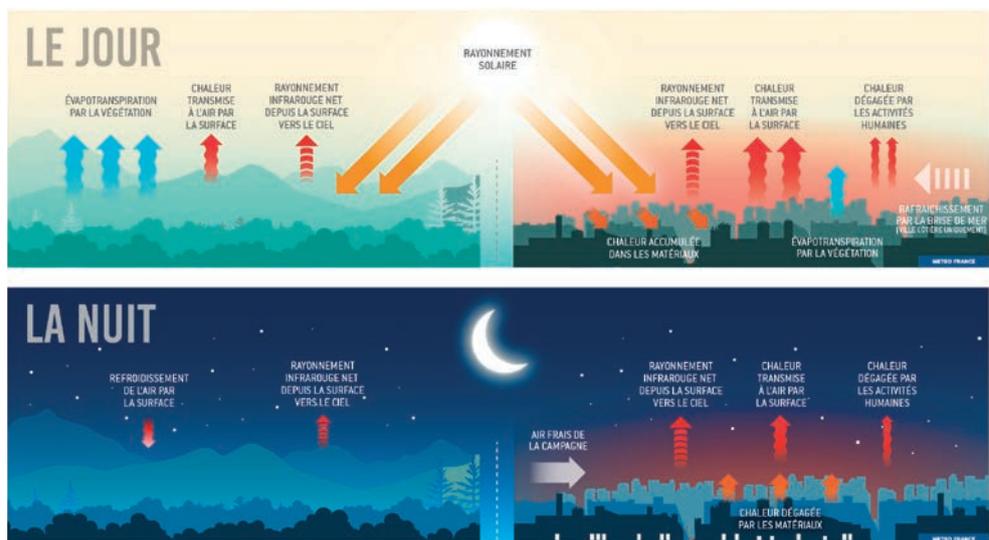


Figure 2. Mécanismes de formation de l'ICU

L'intensité maximale se trouve en centre ville, avec des « creux » de température dans les grands parcs. Les zones résidentielles avec pavillons individuels et jardins présentent des températures moins élevées que les zones commerciales.

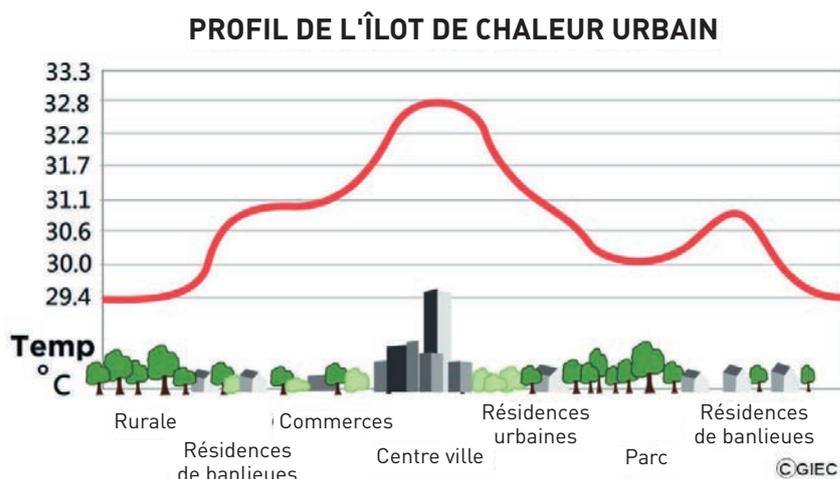


Figure 3. Profil typique d'un ICU

Au delà de cette vision simplifiée de l'ICU, il est important de comprendre que c'est un phénomène dynamique évoluant au fil de la journée, des saisons et de l'année. Il est variable selon les territoires et selon les activités humaines. En outre, il est primordial de bien dissocier le phénomène d'ICU du changement climatique. Les manifestations de ce dernier, notamment l'augmentation des températures, vient l'aggraver mais n'en sont pas la cause.

1.2 Le stress thermique

Lorsque le corps humain est soumis à des conditions météorologiques extrêmes comme de fortes chaleurs, plusieurs réactions sont possibles car selon l'âge, le sexe, la durée d'exposition, etc., le corps va être plus ou moins capable d'affronter la situation. Un indicateur de confort thermique permet de caractériser les niveaux de stress thermique auxquels un corps peut être exposé. On parle par exemple de niveau de stress thermique modéré, fort ou très fort. Selon ces gradations, des précautions spécifiques sont à envisager comme boire, se reposer, se mettre à l'ombre, etc.

Le stress hydrique de la végétation

De l'importance de la gestion de l'eau : le stress hydrique de la végétation.

La végétation permet d'avoir une incidence directe sur le confort thermique des individus. Que ce soit par l'ombre qu'elle peut prodiguer ou tout simplement par le rafraîchissement dû à son évapotranspiration. Cependant son fonctionnement optimal est dépendant d'un équilibre entre eau transpirée et eau puisée, et donc disponible, dans le sol. Lorsque l'eau devient insuffisante, le végétal est en état de stress hydrique, il ne peut plus assurer ses fonctions de rafraîchissement, si le stress est trop long, le végétal flétrit et meurt.

La végétation en ville peut donc être un bon outil pour travailler sur le confort thermique des individus en conditions d'ICU marqué uniquement si elle est en conditions optimales en terme d'eau (que ce soit stockée dans le sol ou pulvérisée via arrosage directement sur le feuillage), d'exposition, de quantité de substrat de sol, etc.

2

ANALYSES DES INTERACTIONS VILLE/CLIMAT

La caractérisation et la représentation cartographique de l'environnement urbain constituent une étape incontournable des exercices de planification et d'aménagement urbains.

La production d'une cartographie des éléments climatiques dans le cadre de l'exercice de diagnostic territorial n'est pas encore réglementaire en France. Pour autant, des équipes de recherche travaillent de concert avec des acteurs de l'urbanisme autour des données et de l'expertise climatiques à produire, adapter ou visualiser, de manière à mieux les intégrer dans les différents exercices de planification et d'aménagement urbains.

Dans ce sens, les Cartes climatiques pour la planification urbaine représentent à la fois un outil de diagnostic microclimatique du territoire urbain et un levier potentiel de traduction réglementaire ultérieure des enjeux identifiés.

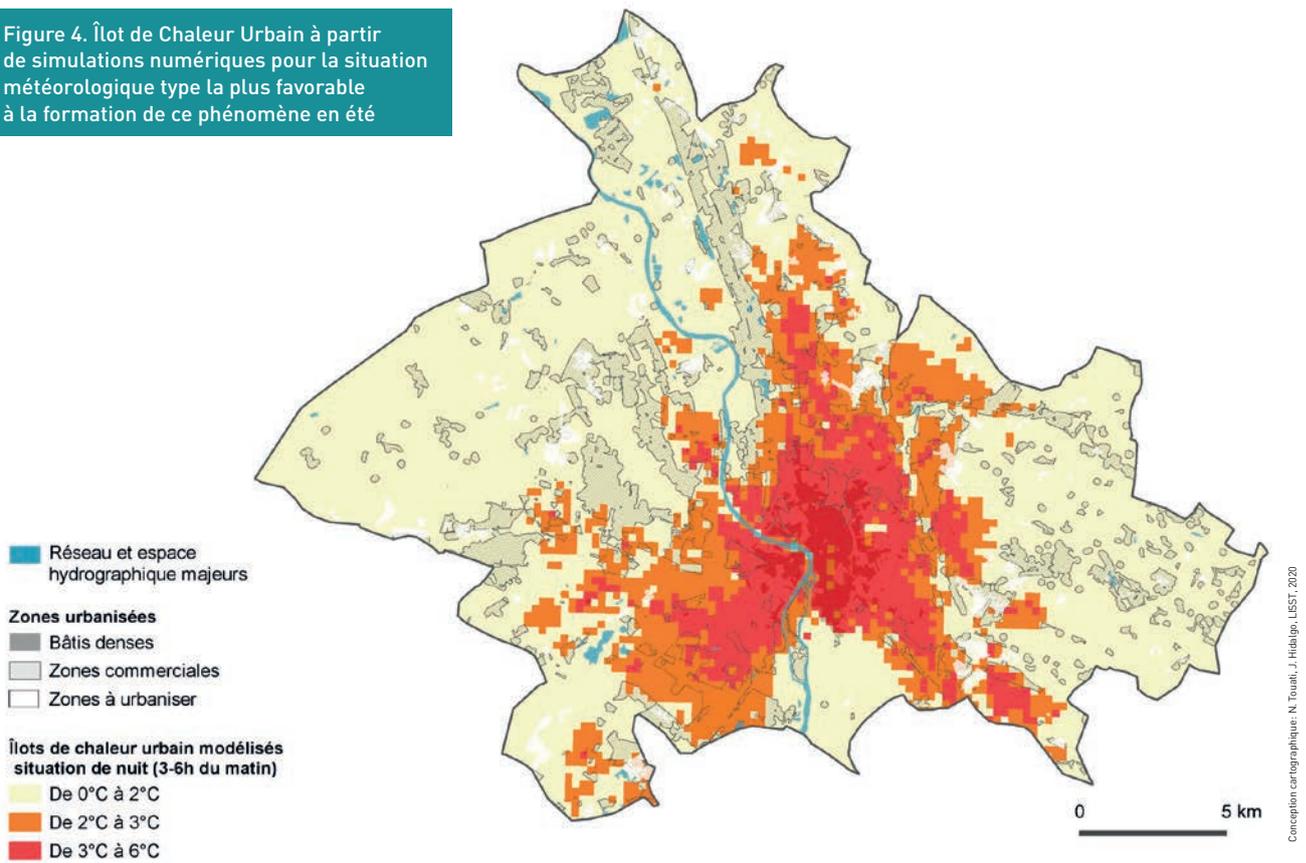
Trois types d'informations climatiques ont été analysés à Toulouse :

- Le **niveau de stress thermique** car il impacte fortement le confort des citoyens et rend incontournable le recours à la climatisation dans de nombreux secteurs d'activité. Cette information est caractérisée à partir de l'indicateur Universal Thermal Index [1].
- La **température de l'air nocturne** car elle influence la capacité des bâtiments à se refroidir pendant les heures de repos nocturne et donc la santé des habitants. Cette information est caractérisée par l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.
- Les **conditions aérauliques** car elles permettent d'identifier les zones favorables à la ventilation naturelle et celles qui présentent un déficit d'aération. Elles sont caractérisées à partir des couloirs de vent prédominants, des zones génératrices de brises de pente, des zones de production d'air frais (végétation ou eau par exemple) ou d'air chaud (zones très minéralisées ou qui recourent à la climatisation par exemple) et les zones qui font obstacle au vent.

Sous des situations météorologiques favorables, caractérisées par un fort ensoleillement diurne et un faible vent, la contribution nocturne de l'urbanisation de Toulouse à la température de l'air atteint presque les 6°C en centre-ville et pratiquement toute la commune de Toulouse est exposée à un îlot de chaleur qui dépasse les 3°C (Fig4).

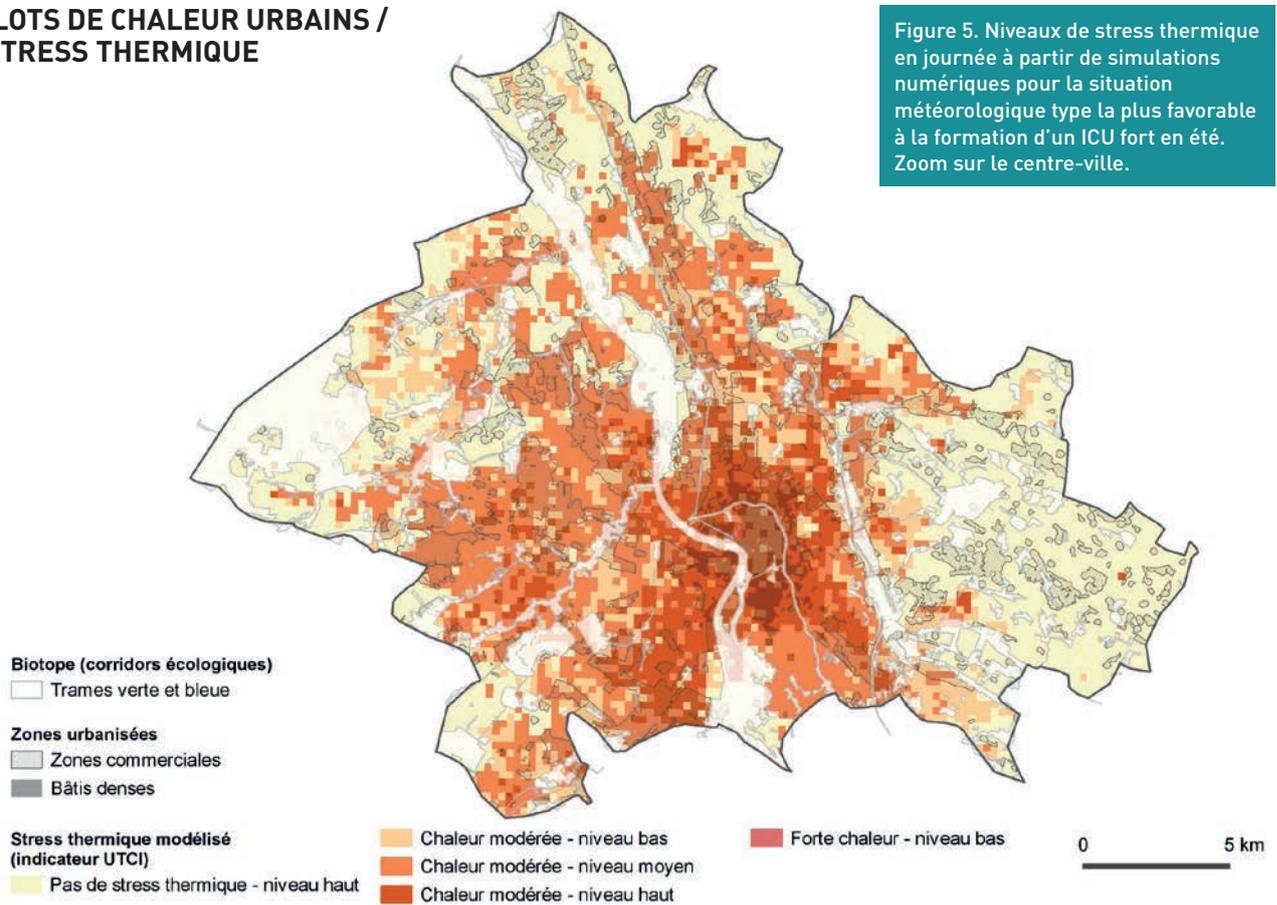
L'extension horizontale de cet îlot de chaleur nocturne est variable en fonction de la situation météorologique analysée, mais elle atteint un maximum de 3000 ha pour la situation météorologique la moins favorable, caractérisée par un vent faible et sec provenant du Nord-Ouest. L'exposition des communes de première couronne à des niveaux forts de température est moins importante en terme d'extension spatiale, mais l'impact de l'urbanisation sur la température de l'air est non négligeable (en orange, Fig4) sur des extensions importantes. Ces sont des zones qui peuvent rapidement basculer vers des niveaux d'exposition élevés et pour lesquelles une attention particulière en matière d'urbanisme doit également être portée.

Figure 4. Îlot de Chaleur Urbain à partir de simulations numériques pour la situation météorologique type la plus favorable à la formation de ce phénomène en été



Sources: BD-Mapuce (2015), données climatiques (CNRM, LISST, 2018), Toulouse Métropole (2018)

ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS / STRESS THERMIQUE



Sources: BD-Mapuce (2015), données climatiques (CNRM, LISST, 2018), Toulouse Métropole (2018)

En journée, la partie de la ville la plus chaude n'est pas le cœur historique dense, mais ses faubourgs immédiats. Les zones commerciales et d'activité, surtout celles situées au Nord de la métropole, présentent également des niveaux de stress thermique importants durant la journée. Mais cet effet dépend aussi de la localisation des zones : par exemple, celles situées dans la vallée de la Garonne au Nord présentent de façon persistante des niveaux de stress thermique particulièrement hauts. En général, les éléments d'infrastructure comme les grandes voies de circulation (rocade, autoroutes, etc.) constituent des couloirs de ventilation d'air pollué et plutôt chaud, surtout en journée et aux heures de forte circulation.

Il est possible ainsi de différencier des zones à enjeu en fonction de leur comportement microclimatique :

- Espace sensible
- Espaces régulateurs

2.1 Espaces sensibles

Le cœur historique de Toulouse communément appelé « Octogone » : cette zone centrale se comporte comme un îlot de fraîcheur pendant la journée car ses rues étroites produisent de l'ombrage le matin et en fin d'après-midi empêchant la surchauffe de la rue et des matériaux de façade et au sol. Par contre la nuit, cette configuration empêche un rafraîchissement satisfaisant et favorise un îlot de chaleur nocturne intense. Les places très minéralisées et exposées au soleil (Capitole, Esquirol) font exception en journée, avec des niveaux de stress thermique plus élevés que dans les rues adjacentes plus ombragées.

Les faubourgs : Saint Cyprien, Saint Michel, Bonnefoy, etc., présentent durant la journée les niveaux de stress thermique les plus élevés du centre-ville, à cause d'une configuration des rues plus ouverte qui favorise le réchauffement de la chaussée et des murs exposés. La nuit, ces zones vont connaître un rafraîchissement plus rapide que celui de l'hypercentre. Cependant, leur position centrale au sein d'une agglomération étendue fait que ces faubourgs restent exposés à un fort îlot de chaleur urbain.

En général et sur ces deux zones (hypercentre et faubourgs), on observe un ralentissement du vent par le bâti.

Les centres villes des communes de première couronne : Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les centres villes de ces communes (Blagnac, Tournefeuille, Balma) contribuent également d'une manière importante, (au delà de +3°C), à l'îlot de chaleur urbain de l'agglomération. Nous proposons de prêter une attention particulière aux zones qui entourent ces centres villes et qui présentent d'ores et déjà un ICU compris entre 2 et 3°C. Nous les appellerons ici des **zones à basculement**.

Les zones commerciales et d'activité : ces zones présentent des niveaux de stress thermique importants pendant la journée à cause de l'absence d'ombrage, de la forte imperméabilisation du sol et du fort taux de climatisation. La nuit, les zones d'activité qui présentent une forte activité anthropique nocturne (production, logistique, etc.) et/ou sont situées sur la vallée de la Garonne (notamment celles situées au Sud-Ouest et Nord du centre-ville) ont une exposition forte à l'ICU.

La trame verte et bleue est un réseau naturel terrestre (trame verte) et aquatique (trame bleue).

- La trame verte : boisement et forêts, prairies naturelles, haies, bosquets, espaces verts et jardins...
- La trame bleue : fleuves et cours d'eau, mares, plans d'eau, anciennes gravières, zones humides...

Cette trame est composée de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques.

- Les réservoirs de biodiversité sont des espaces d'une importante richesse naturelle et de taille suffisante pour permettre aux espèces de plantes et d'animaux de se nourrir, se reproduire et se reposer.
- Les corridors écologiques relient les réservoirs de biodiversité et permettent aux animaux de se déplacer.

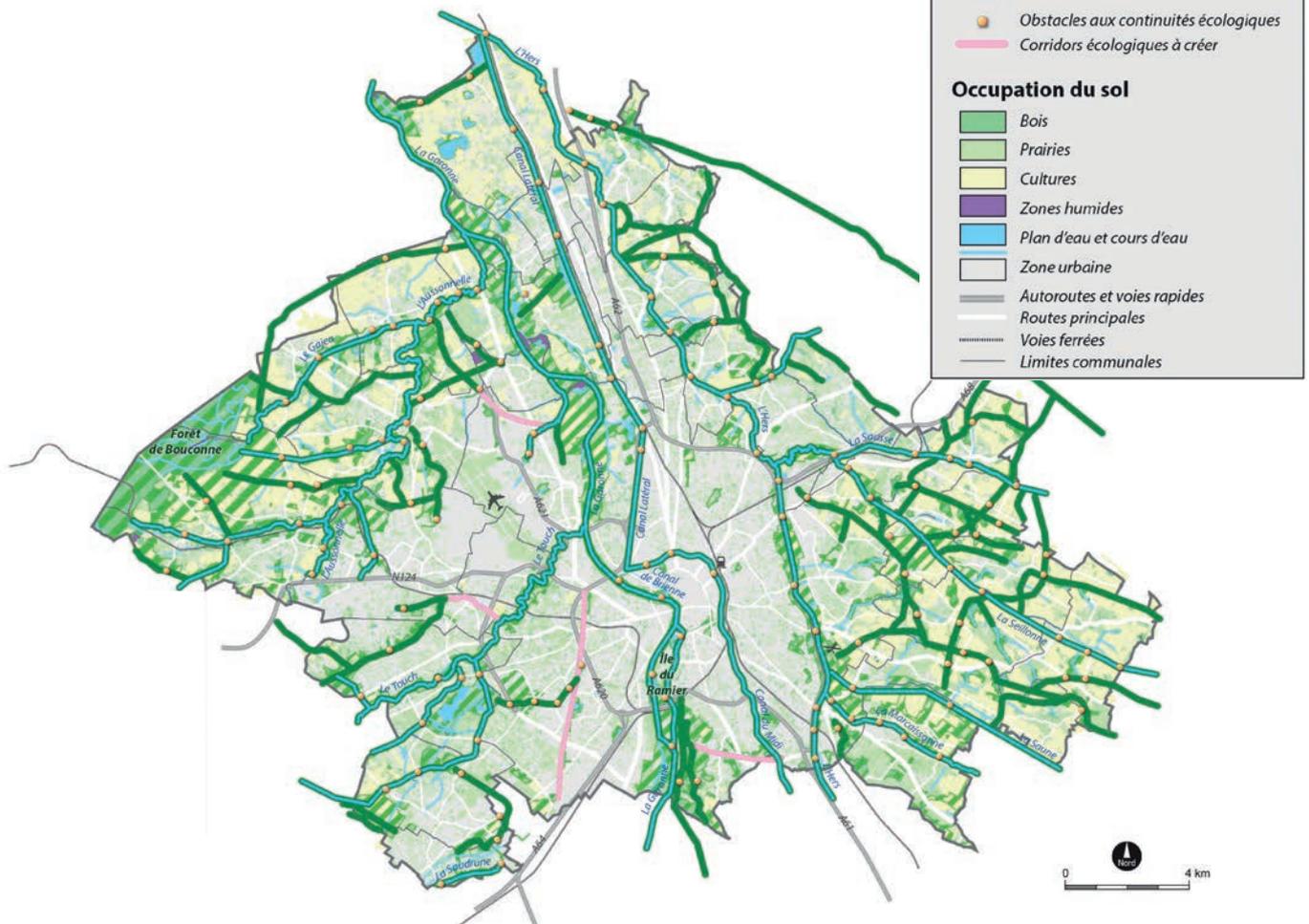
Ces espaces naturels régulent les températures, forment des réserves d'eau, diversifient les paysages et constituent des espaces récréatifs.

2.2 Espaces régulateurs

Les espaces régulateurs, d'un point de vue climatique, sont ceux qui permettent de favoriser la préservation du confort climatique à travers de l'ombrage, l'évapotranspiration ou la ventilation.

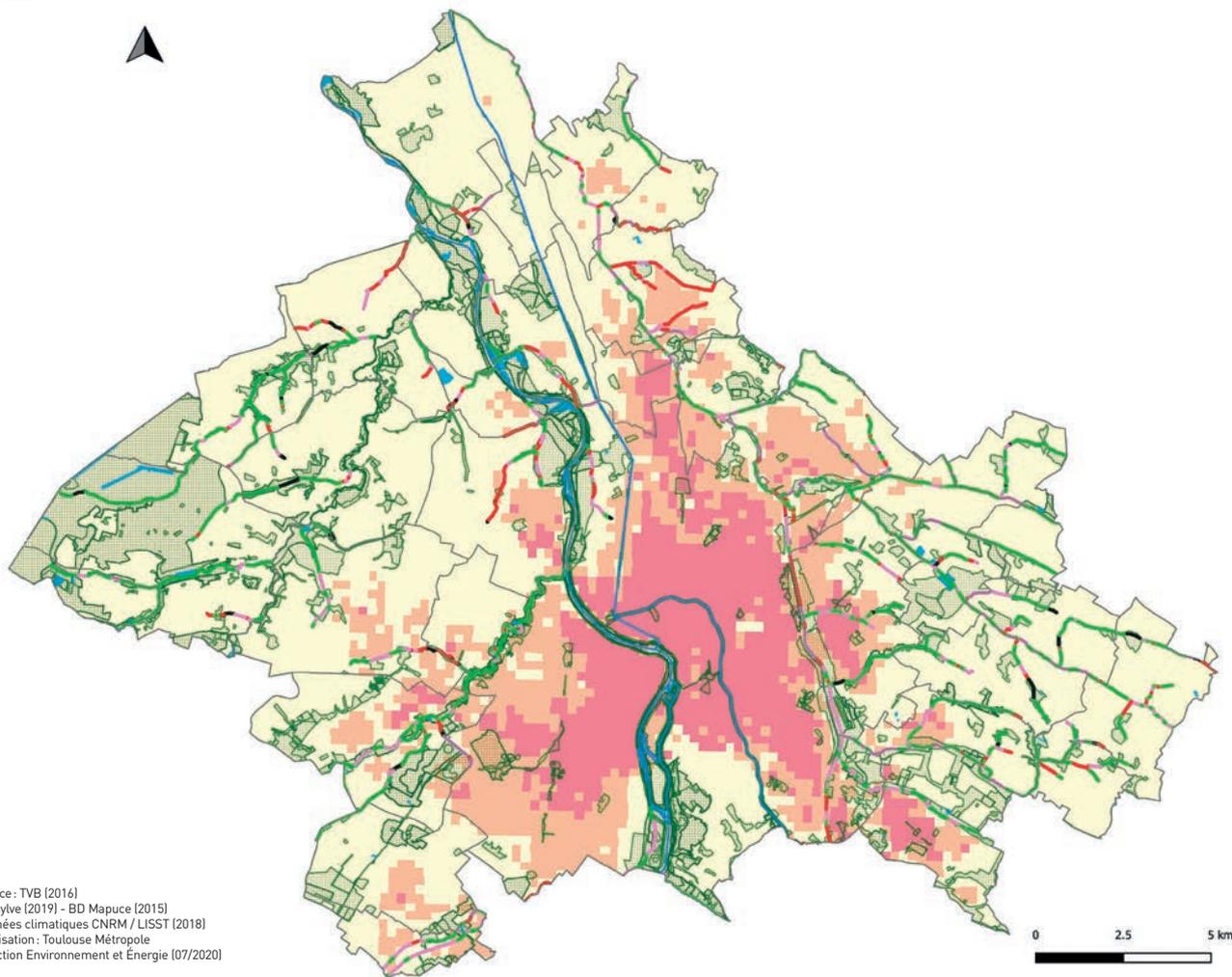
À l'échelle du grand territoire, cela correspond à la trame verte et bleue, notamment les grands poumons verts (plaine alluviale de la Garonne, massif forestier de Bouconne), les boisements de berges (Île du Ramier, Vallée de l'Aussonnelle ou encore de la Seillonne...) et les milieux associés tels que les zones humides. Cela concerne aussi les espaces ouverts non urbanisés, reliefs et vallées de tout type potentiellement capables de générer des phénomènes de brise (coteaux de Pech David) ou de canaliser le vent prédominant (venant de l'Ariège pour le sud du couloir garonnais, venant des collines de Jolimont pour les secteurs de Montaudran et de la vallée de l'Hers).

TRAME VERTE ET BLEUE SUR LA MÉTROPOLE TOULOUSAINNE



Mise en forme cartographique : Imapping [2020]
 Réalisation technique : Biotopie, pour le compte de Toulouse Métropole [2017]
 Sources de données : Agence de l'eau Adour Garonne, AUAT, Biotopie, Conseil départemental de Haute-Garonne, DREAL Midi-Pyrénées, IGN, ONEMA, Toulouse métropole

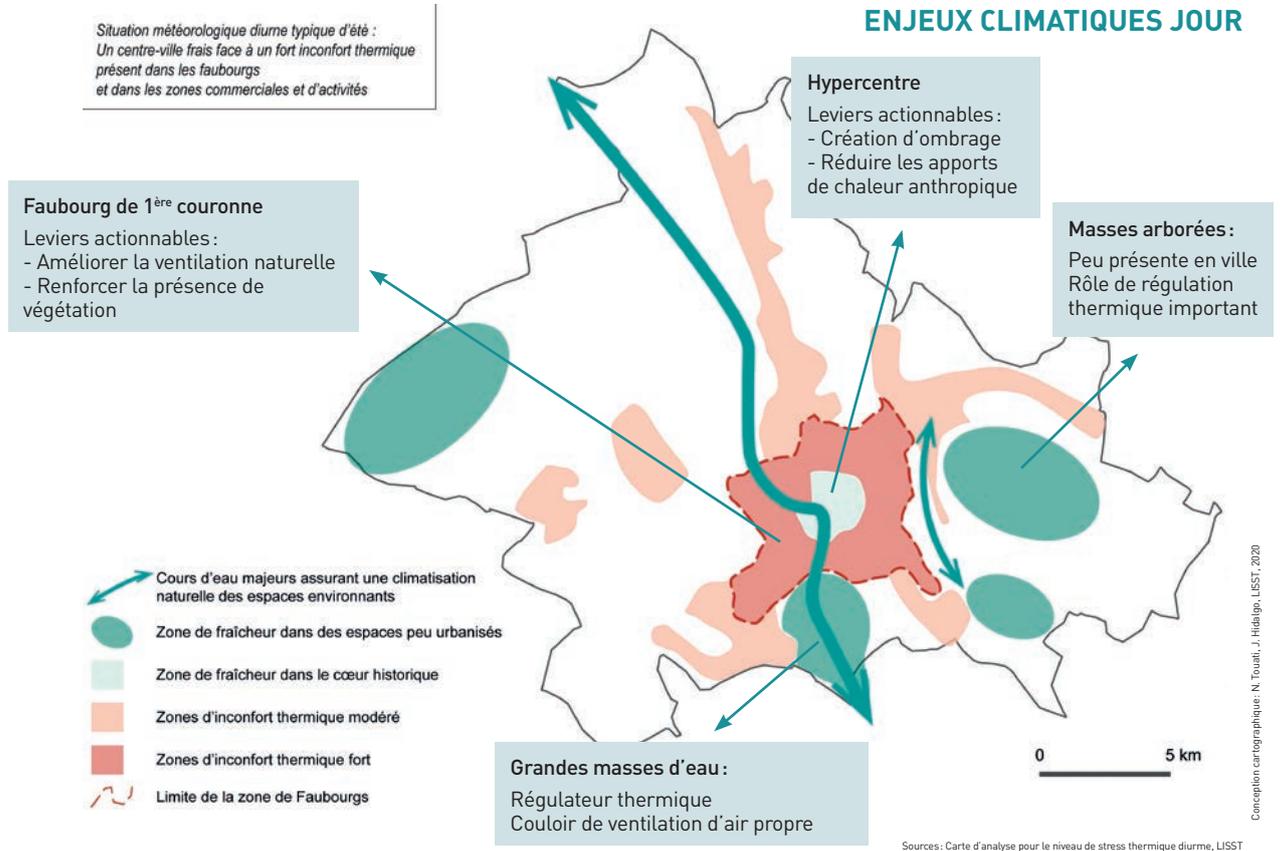
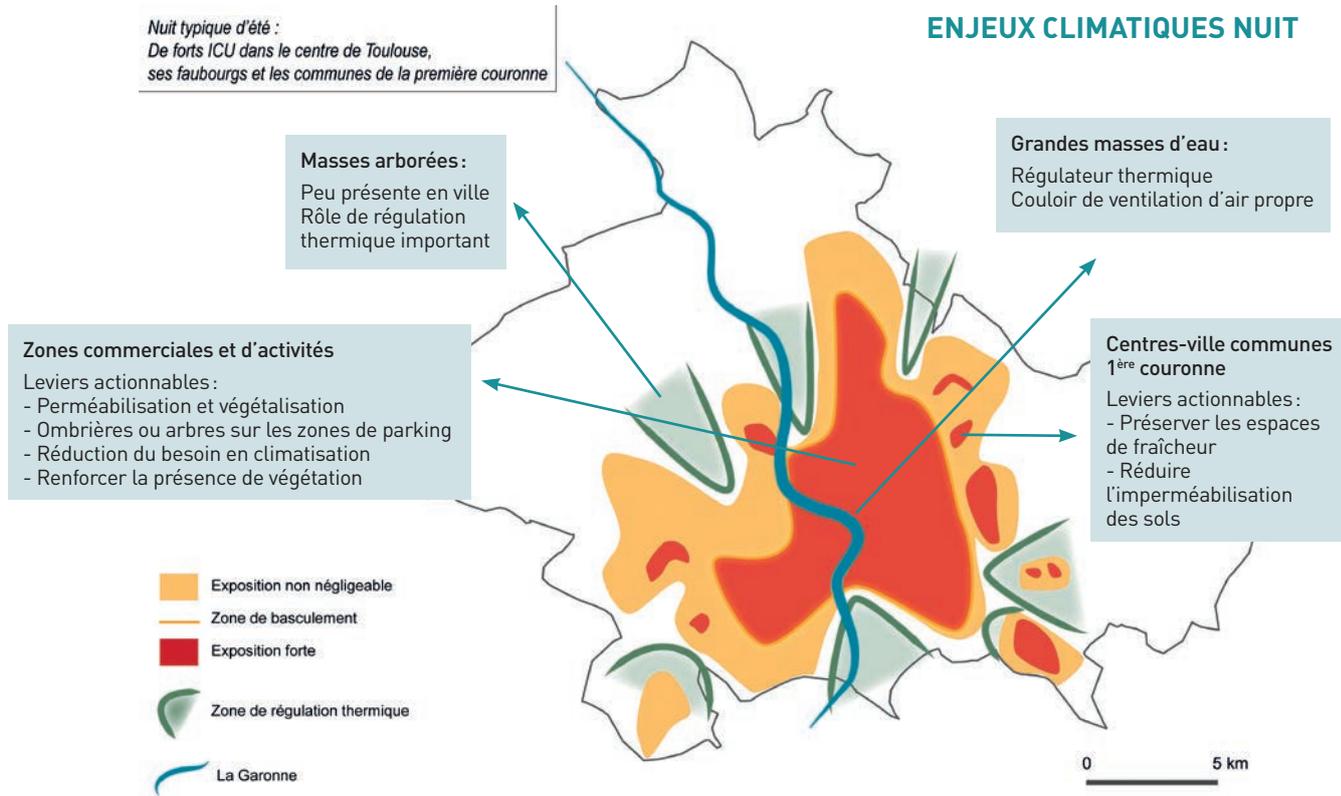
TRAME VERTE ET BLEUE ET ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS



Source : TVB (2016)
 Ripisylve (2019) - BD Mapuce (2015)
 Données climatiques CNRM / LISST (2018)
 Réalisation : Toulouse Métropole
 Direction Environnement et Énergie (07/2020)

- | | |
|--|---|
| <p>Îlots de chaleur urbain, de 3H-6H AM (°C)
 Pour une situation ensoleillée,
 très chaude en été avec du vent faible de NO (TTS9)</p> <ul style="list-style-type: none"> Exposition négligeable (de 0 à 2°C) Exposition non négligeable (de 2 à 3°C) Exposition forte (de 3°C à 6°C) Réservoirs de biodiversité Zones_humides_metropole La Garonne et les canaux Limites communales | <p>Etat de la ripisylve</p> <ul style="list-style-type: none"> Busé Absente Continue Discontinue |
|--|---|

Synthèse d'enjeux microclimatiques



Sources: Carte d'analyse pour le niveau de stress thermique diurne, LISST

Conception cartographique : N. Touati, J. Hidaïgo, LISST, 2020

Figure 7. Carte schématique des zones à enjeux et des espaces régulateurs

3

RECOMMANDATIONS

La sensation de confort thermique est liée à différents facteurs qui diffèrent selon les espaces et les sensibilités comme la température, l'humidité, la ventilation, l'ensoleillement.

La forme urbaine, la nature des matériaux, les composantes de l'espace public ou privé (végétation, eau) peuvent influencer sur les conditions microclimatiques et offrir aux habitants des espaces confortables permettant de lutter efficacement contre les ICU.

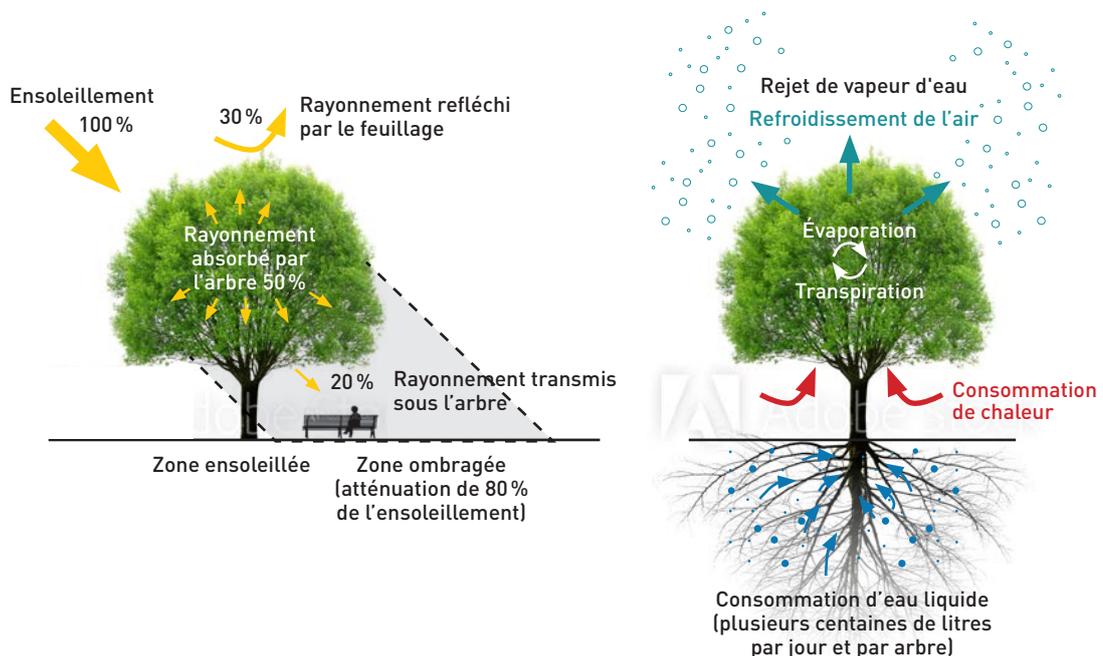
L'ensemble des recommandations varie en termes de leviers d'actions et d'échelle d'intervention.

3.1 Recommandation par leviers d'actions

A - LA VÉGÉTATION

La végétalisation est le levier d'atténuation de l'ICU d'autant plus approprié que la préservation et le renforcement de la végétation urbaine sont encadrés depuis une dizaine d'années pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques. D'un point de vue microclimatique, la végétation présente des propriétés physiques qui ont pour effet de réduire l'accumulation de l'énergie solaire en comparaison avec le bâti.

De plus, certains types de végétation tels que les arbres, la végétation suspendue ou la végétation arbustive, peuvent fournir de l'ombre et minimiser le gain de chaleur des surfaces ombragées (chaussée, murs) et réduire la demande en énergie du bâtiment pour le refroidissement intérieur. L'évapotranspiration des plantes réduit localement la température de l'air, ce qui améliore considérablement le confort thermique.



La végétalisation pour lutter contre l'ICU peut se faire à différentes échelles spatiales :

L'inclusion de la végétation à l'échelle du bâtiment par ex., en préservant ou en incorporant des aménagements paysagers ou de la végétation autour des bâtiments.

Il est préférable que la végétation soit plantée en pleine terre, dans des conditions qui lui permettront un développement adulte approprié en hauteur et en largeur, qu'elle soit composée d'essences adaptées au climat local et cohérentes avec les écosystèmes locaux, qu'elle offre de l'ombrage, ainsi qu'une bonne capacité d'évapotranspiration tout en étant peu consommatrice d'eau.

Les toits végétalisés sont climatiquement moins intéressants que la végétation de pleine terre car, même s'ils possèdent de nombreuses vertus (esthétiques, sociales, biodiversité, thermique pour le bâtiment...), ils n'ont qu'un effet mineur sur le confort du piéton car situés trop haut.

Les façades végétalisées sont à privilégier dans les zones ombragées pour éviter de placer les essences végétales dans des conditions de stress thermique et hydrique l'été. Ainsi, il faut privilégier la végétalisation des façades exposées au nord ou à l'est, ou bien celles bénéficiant de l'ombre portée

d'autres bâtiments, et un enracinement au sol de la végétation dans de la pleine terre avec des essences grimpantes.

La végétation peut être aussi utilisée dans des cours ombragées ou rattachée à des structures comme les pergolas. Lors de l'élaboration d'un bâtiment ou d'un espace public, une réflexion peut donc être apportée pour prioriser la végétation dans les espaces ombragés. Les espaces les plus exposés au soleil peuvent aussi être végétalisés.

La question de la disponibilité en eau, nécessaire pour maintenir leur rôle régulateur et la pérennité de ces espaces, sera à étudier de façon très précise dans un contexte de réchauffement climatique impliquant des tensions croissantes sur la gestion de cette ressource.

Une palette végétale est intégrée au PLUi-H, elle encourage le choix d'espèces ayant été éprouvées dans la région toulousaine et dont on peut supposer qu'elles peuvent assumer un réchauffement climatique de quelques degrés, notamment des périodes estivales plus chaudes. Elle présente un chapitre spécifique pour le choix des essences végétales sur les façades.



Les parcs arborés et les espaces ouverts à l'échelle du quartier.

Cette catégorie fait référence aux parcs de taille moyenne avec une forme compacte ou linéaire à l'intérieur de la zone urbaine et communément situés près des zones résidentielles ou le long des rives fluviales. Ces espaces fournissent un confort thermique localisé et leur effet reste souvent circonscrit à leurs frontières (une centaine de mètres), néanmoins il est possible d'augmenter considérablement leur effet sur les zones artificialisées voisines tout d'abord en les préservant, voire en les densifiant et en combinant

cette présence de végétation avec une ventilation adéquate pour les nouveaux quartiers. Pour cela les effets de brises thermiques seront à rechercher et des études aérauliques seront à réaliser en amont de chaque aménagement. **Qu'ils soient publics ou privés, ces espaces verts arborés doivent être protégés de façon ciblée et territorialisée dans les documents d'urbanisme, en complément de la protection des grands espaces verts.**

Une vigilance est toutefois à observer sur les linéaires arborés situés de part et d'autres de voies de fortes circulations et qui peuvent former une route et rendre captifs les polluants.



Les «grands espaces verts» à l'échelle de la ville ou de l'agglomération pour améliorer la ventilation.

Les grands parcs urbains, les forêts, les boisements de berges et les réservoirs écologiques situés en périphérie ou dans les zones centrales de la ville ont des effets notables sur le micro-climat local. Ils sont également appelés «îlots de fraîcheur». Ils assurent non seulement un meilleur confort thermique en leur sein, mais peuvent

également apporter de la fraîcheur aux zones urbaines proches, contribuant ainsi à la régulation de l'accumulation de chaleur et de la ventilation dans toute la zone urbaine. Leur effet rafraîchissant est principalement déterminé par le groupe d'espèces, le couvert forestier, la taille et la forme des parcs en relation avec le climat régional. Les effets bénéfiques de ces grands espaces verts urbains sur la température de l'air sont estimés entre -1,5 et - 4° C.



B - LES OMBRAGES

L'ombrage, très en lien avec les autres leviers, est une mesure essentielle pour atténuer le stress thermique pendant la journée, surtout vers midi lorsque le soleil est au plus haut et également pour réduire l'accumulation de chaleur sur les matériaux et ainsi réduire l'îlot de chaleur urbain.

En plus d'être assuré par la géométrie urbaine, l'orientation du bâtiment/rue et la présence de végétation arborée ou arbustive,

l'ombrage des espaces extérieurs, tels que les rues, les places ou les parcs, peuvent être assurés par des structures ou dispositifs d'ombrage horizontal et vertical. Il est néanmoins nécessaire de trouver un équilibre entre cet effet d'ombrage et la ventilation extérieure (pour ne pas nuire au refroidissement nocturne) et l'éclairage naturel à l'intérieur des bâtiments.

C - LA FORME URBAINE

La forme urbaine - la disposition des bâtiments, emplacement des éléments urbains, hauteur et géométrie du bâtiment - sont des variables qui conditionnent la performance thermique de la zone urbaine. Ils offrent un grand potentiel pour tirer le meilleur parti des potentialités naturelles du territoire, climat régional et flux d'air, développant des circuits d'air appropriés

pour éliminer la chaleur urbaine accumulée afin d'atténuer l'îlot de chaleur urbain et améliorer le confort thermique.

La forme urbaine affecte la répartition spatiale des zones ombragées ainsi que l'environnement venteux. Ce sont les deux variables les plus importantes pour améliorer le confort thermique localement.

Trois niveaux de réflexion peuvent être développés dans la planification et les aménagements urbains sur le rôle de la géométrie urbaine en lien avec le climat :

La géométrie à l'échelle de l'aménagement. Plusieurs indicateurs sont communément utilisés pour caractériser la géométrie de la rue (facteur de vue du ciel, rapport d'aspect de la rue, hauteur du bâti par rapport à la hauteur de la végétation, forme du bâti, hétérogénéité du bâti,...) et chacun d'entre eux a un lien direct avec les conditions microclimatiques locales et constitue donc un levier d'action potentiel.

Les deux principaux points à retenir sont :

- le rapport entre la hauteur du bâti et la largeur de la rue conditionne fortement :
 - d'une part la quantité de rayonnement reçu au niveau du sol pendant la journée grâce à l'ombrage produit par les bâtiments sur la chaussée, bénéfique au confort thermique diurne et la réduction de l'appel à la climatisation.
 - d'autre part le refroidissement nocturne peut favoriser la formation d'un îlot de chaleur. Un équilibre entre ces deux phénomènes opposés reste donc à trouver en fonction de l'orientation de la rue dans la ville, de l'usage du sol dans les environs et des couloirs de ventilation prédominants.
- il n'y a pas de rue type idéale d'un point de vue microclimatique et l'efficacité climatique et énergétique sera obtenue avec la combinaison de plusieurs leviers adaptés à un contexte urbain qui, lui, est unique. En plus de la forme de la rue, d'autres leviers sont à considérer tels que les techniques de constructions bioclimatiques et l'utilisation d'arbres pour réduire l'ensoleillement direct et la température de surface à la fois des façades des bâtiments et de la chaussée.

La géométrie urbaine et les couloirs de ventilation. L'agencement des bâtiments et autres éléments urbains (infrastructure routière, barrières de protection antibruit, digues...) peuvent bloquer et ralentir l'accès au vent à l'échelle du piéton affectant ainsi le confort thermique et la qualité de l'air. D'un point de vue de la planification et de l'aménagement urbains, plusieurs points sont à retenir :

- l'orientation des rues doit être réfléchi par rapport aux couloirs prédominants de ventilation. Pour celles qui seront orientées avec un angle compris entre 20° et 120° ou 160° et 260° par rapport au nord, des mesures devront être prises pour assurer une ventilation adéquate (zones d'aération entre bâtiments, jeu avec la hauteur et ou la forme du bâti, etc.).

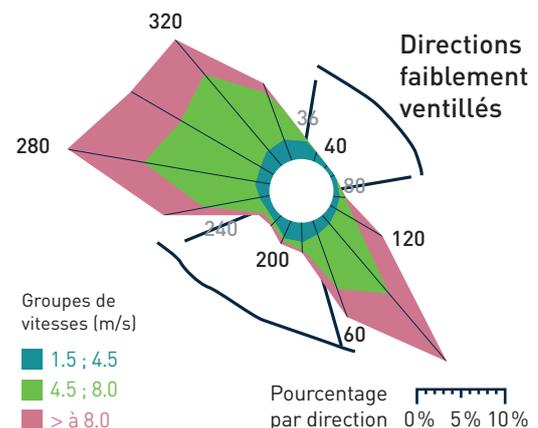


Figure 6. Rose de vent pour Toulouse (adaptation depuis celle de Météo-France <http://tempetes.meteo.fr/spip.php?article238>)

- les sites proches des rives et de crêtes doivent être préservés avec les fonctionnalités écologiques des cours d'eau et les filets d'eau doivent être restaurés et confortés de manière à assurer pleinement leur rôle de régulateur thermique. Une urbanisation et artificialisation du sol très maîtrisées afin de ne pas bloquer la ventilation et la création de brises naturelles.

La géométrie urbaine et l'occupation du sol.

Plus que la densité bâtie en elle-même, la forme et la disposition des bâtiments ont le plus grand impact sur la fraction de sol artificialisée in fine. Il est nécessaire de prendre en compte tous les éléments annexes au bâti en lui-même: trottoirs, routes, espaces de stationnement, etc. afin d'estimer la fraction de sol imperméable qui va être créée dans l'opération et réfléchir à la disposition des bâtiments pour optimiser des espaces de nature de qualité et réduire l'imperméabilisation.

Ainsi, dans le cadre des exercices de planification urbaine mais aussi lors d'une opération d'aménagement, de type ZAC par exemple, les règles édictées en matière d'emprise au sol, de hauteur, d'obligation de places de stationnement et d'espaces minimum de pleine terre doivent être pensées pour engendrer le minimum d'espaces libres imperméabilisés. Les zones urbaines denses favoriseront le stationnement en sous-sol pour permettre aux espaces libres d'accueillir de la pleine terre et de la végétation. Indépendamment du niveau de densité urbaine, c'est le traitement des espaces non construits, à savoir les espaces libres, qui doivent être encadrés pour limiter leur imperméabilisation abusive.

Règles PLUi-H pour préserver les îlots végétalisés

Le PLUi-H dispose d'outils réglementaires pour préserver les îlots végétalisés :

- les outils territorialisés: les Espaces Verts Protégés (EVP), les Espaces boisés Classés (EBC), les Espaces Inconstructibles pour Continuités Ecologiques (EICE), etc.
- les outils qui s'appliquent à l'ensemble du territoire: Privilégier la conservation des arbres existants de qualité en cas de projet, même si ces arbres ne sont pas protégés par un EVP ou un EBC
 - Former un espace vert d'un seul tenant participant à la formation d'un cœur d'îlot vert, en cas de projet
 - Possibilité d'adapter les règles d'implantation des constructions pour préserver un espace vert existant
- Les zones urbaines où il existe une bande principale de constructibilité qui permet de limiter la constructibilité en cœur d'îlot et de préserver les îlots verts de fraîcheur

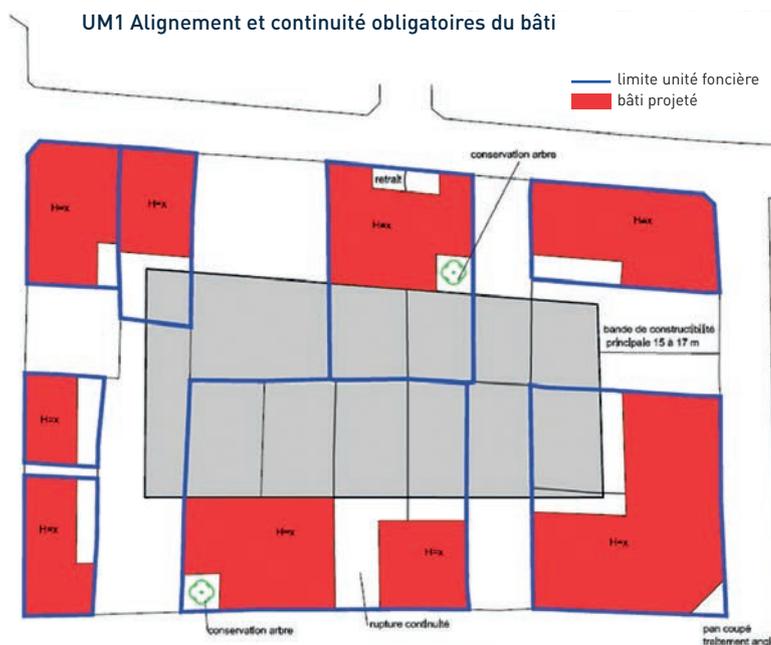


Schéma illustratif de la bande principale de constructibilité dans la zone UM1 du PLUi-H qui permet de limiter la construction en cœur d'îlot.

Tout comme l'eau suit son cheminement, la lumière aussi est régie par des règles de déplacement. Elle se transmet, s'absorbe, se reflète. Construire un mur ou une rue avec un revêtement blanc va renvoyer les rayons vers d'autres surfaces, le but du jeu est de les envoyer là où ils ne seront pas une gêne pour les piétons ou vers un lieu où ils seront absorbés de façon concentrée, comme une route noire au pied d'un mur blanc orienté sud. L'optimum étant de les

renvoyer vers le ciel... En jouant avec les formes, on peut «casser», «orienter» ces rayons. Pergolas, arcades, ombrières, bardages, casquettes, miroirs sont tout autant d'éléments pour «jouer» avec la lumière. D'autant plus que l'incidence du soleil n'étant pas la même en été et en hiver, on peut créer des «ombres de saisons».

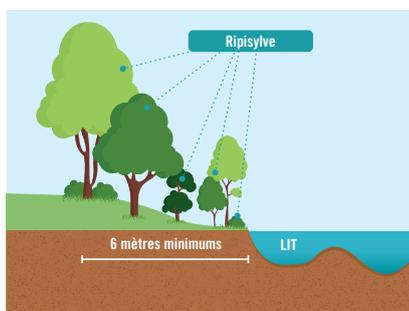
D – LES HYDROSYSTÈMES (HYDROGRAPHIQUES ET PIÈCES D’EAU)

Toutes tailles peuvent servir pour améliorer le confort du piéton et diminuer dans une certaine mesure la surchauffe des éléments bâtis.

On entend par hydrosystèmes (hydrographiques et pièces d'eau) les étangs, lac, canaux, petites mares mais aussi fontaines, bassins et points d'eau.

La ripisylve, un écosystème à protéger

La végétation des berges, appelée également ripisylve, est essentielle au cours d'eau. Elle permet de stabiliser les berges, crée des ombrages, joue un rôle bénéfique pour la biodiversité et est indispensable à la faune aquatique. Elle joue un rôle important pour la filtration de l'eau et le ralentissement dynamique des crues. Elle a également un effet rafraîchissant grâce à l'association des trames végétales boisées associées et masses d'eau.



L'effet bénéfique de la présence d'eau est lié à plusieurs facteurs :



- le jour, la température de la surface n'augmente pas autant que le reste de la zone urbaine
- Elles peuvent être considérées comme des îlots de fraîcheur. Par contre la nuit, à cause d'une plus grande inertie thermique par rapport à l'air, la température diminue lentement et l'eau peut être une source de chaleur comparé à l'air environnant.
- l'eau s'évapore et augmente l'humidité de l'air. En fonction du

contexte régional, cela peut avoir un impact positif sur le ressenti thermique surtout pour les climats chauds et secs comme c'est le cas à Toulouse en été.

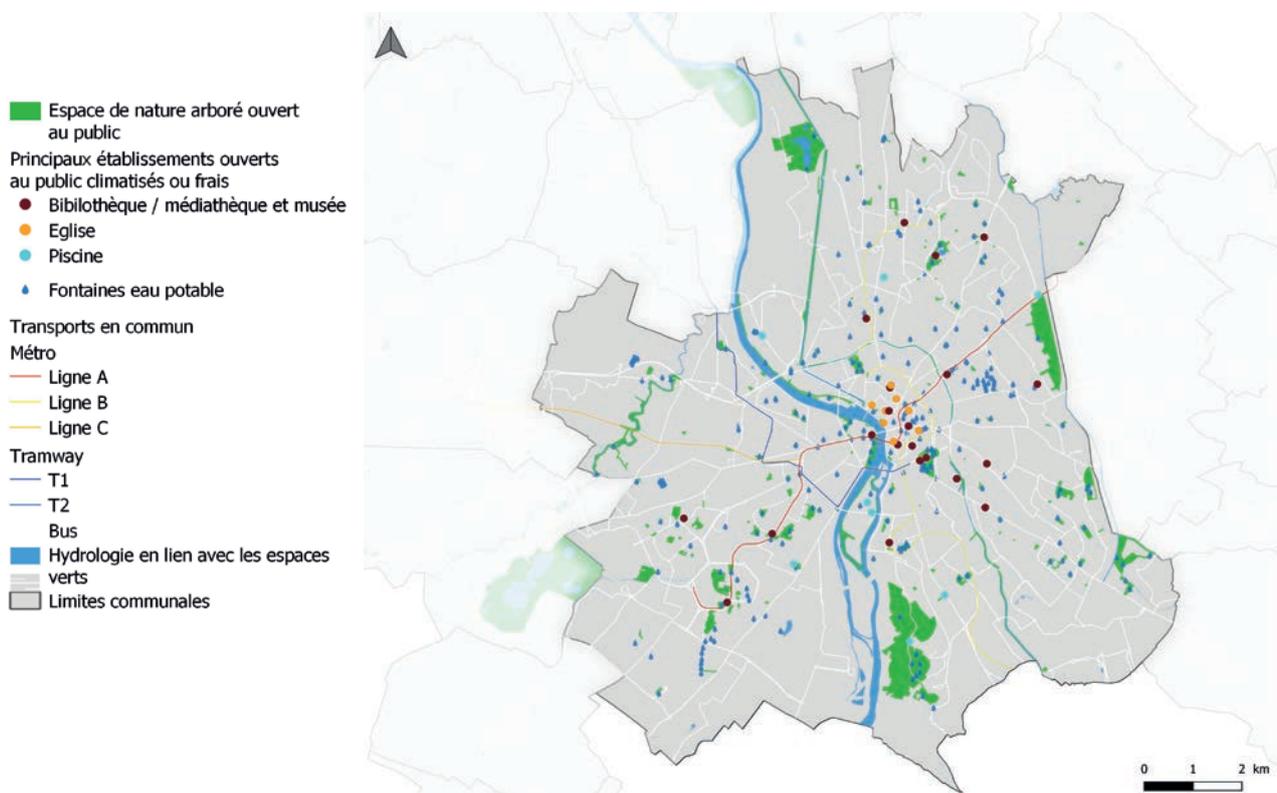
- finalement, l'effet rafraîchissant est surtout lié aux trames végétales et boisées qui sont associées à ces masses d'eau. Au-delà de l'ombrage et du phénomène bénéfique d'évaporation qu'elles génèrent, ces trames peuvent, selon leur composition et leur taille constituer des couloirs.



La gestion des masses d'eau, et dans certains cas leur implantation, avec un objectif d'amélioration du confort urbain, peut se faire à toutes les échelles spatiales :

Les points d'eau potable constituent une ressource précieuse pour les habitants et touristes pour se désaltérer surtout en journée. C'est également un levier

important dans les politiques de réduction des déchets et de santé publique en lien avec la réduction de la consommation de boissons en bouteille.



Les fontaines, bassins ornementaux et pleins d'eau, en relation au confort thermique, ils empêchent localement la surchauffe des surfaces bâties et augmentent les niveaux d'humidité de l'air surtout ceux équipés de jets ou de pulvérisation de l'eau. En fonction de la taille, de la forme et de la dynamique des masses d'eau, cet effet rafraîchissant est de l'ordre de 1 à 2°C et peut être perçu

sur quelques dizaines de mètres en aval du vent. Ces dernières années, ces installations ont constitué un véritable refuge ludique pour adultes et enfants lors de journées caniculaires.

Avec le développement dans nos latitudes du moustique tigre, il est important de porter une attention particulière à la non stagnation de l'eau sur ces dispositifs.

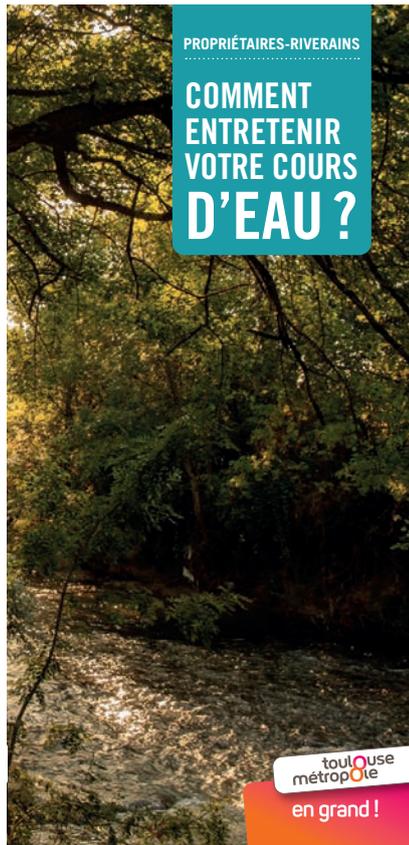


© P. Nin

Les grandes masses d'eau naturelles ou artificielles (étangs, lacs, canaux), réduisent l'accumulation de chaleur et contribuent à améliorer le confort thermique diurne et, la nuit, à réduire l'îlot de chaleur urbain. Cet effet est surtout dû à la présence associée de végétation et de masses arbustives et arborées.

De plus, si les étendues d'eau sont suffisamment grandes (plusieurs kilomètres

carrés) des brises locales peuvent se développer et la vitesse du vent augmenter avec des effets bénéfiques pour le confort thermique et l'évacuation de la chaleur en milieu urbain. Le guide technique «Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations» (GEMAPI) de Toulouse Métropole propose une série de fiches spécifiques aux aménagements en bordures de cours d'eau.



Sur la métropole, la ressource en eau est un enjeu important en matière d'adaptation face à la tension sur la ressource. Les aménagements devront être capables de proposer des solutions alternatives de gestion des eaux pluviales permettant d'infiltrer des eaux, de capter en partie les eaux de ruissellement et de la stocker pour un usage ultérieur à l'échelle de la parcelle. Les aménagements devront également proposer des systèmes permettant plus de sobriété quant à cette ressource vitale qui est à mettre en regard des besoins relatifs aux solutions de végétalisation.

L'eau peut revêtir divers rôles en cas de fortes chaleurs : rafraîchir les chaussées, hydrater les espaces verts, en plus de l'utilisation privée.

Cette prise en compte et son intégration dans le PLUIH est un enjeu majeur en matière d'adaptation au changement climatique.

E- LES MATÉRIAUX ET LES SURFACES

Deux types de surfaces prédominent au niveau de la composition urbaine : les bâtiments (les isolants, le gros œuvre, la toiture) et les sols. Ces surfaces, qui sont interdépendantes, impactent le confort thermique extérieur (rues, places) et intérieur (habitations).

Les deux principaux points à retenir sont :

- Concernant le confort thermique extérieur, en fonction des propriétés thermiques des matériaux, l'énergie reçue durant la journée est plus ou moins stockée ou réfléchi. La nuit, les matériaux vont se refroidir et relâchent cette énergie en réchauffant l'air.
- Concernant le confort thermique intérieur, les matériaux doivent permettre de trouver un équilibre entre la perte de chaleur en hiver et le confort thermique en été. Ainsi l'utilisation de la climatisation et le recours au chauffage doit être réduite, pour limiter les rejets d'air chaud à l'extérieur et la consommation énergétique globale du bâtiment. L'isolation et donc la résistance thermique doivent être privilégiées pour une adaptation aux conditions hivernales et les propriétés d'inertie thermique seront favorisées pour limiter les pics de températures survenant en périodes estivales.

À l'échelle de l'aménagement, il est ainsi possible de jouer sur leur couleur, leur traitement, leur épaisseur pour optimiser les absorptions/émissions de chaleur. La priorité du travail se situe sur les façades les plus exposées. La couleur noire est à proscrire... Il existe aujourd'hui une myriade de solutions techniques pour optimiser la réflexion solaire et optimiser l'infiltration de l'eau dans le sol : des revêtements ou peintures dits « froids » pour la chaussée, les murs ou les toitures (cool pavements, cool façades et cool roofs en anglais), des bâtiments qui tirent profit des propriétés rafraîchissantes de l'eau ainsi que des revêtements de chaussées à rétention d'eau et poreux (cf. guide des matériaux du CEREMA).

Une attention particulière doit être portée à l'innocuité environnementale et la durabilité de ces traitements innovants qui peuvent être appliqués avant, pendant et/ou après l'installation.

3. 2. Recommandations par secteur géographique

A - L'OCTOGONE OU CENTRE HISTORIQUE

- Préserver l'effet d'îlot de fraîcheur naturel le jour
- Minimiser le réchauffement des espaces publics qui présentent un fort niveau de stress thermique
- Favoriser la ventilation naturelle (des bâtiments et/ou des espaces extérieurs)
- Favoriser le confort du piéton

RECOMMANDATIONS

La végétation présente sur les espaces publics (parcs et places) et privés (îlots) est à minima à maintenir et au mieux à renforcer. Dans ce secteur, la faible largeur des rues et la densité des réseaux et des parkings souterrains peuvent rendre difficile une végétalisation en pleine terre ou la perméabilisation du sol. Sur les places publiques, la création d'**ombrage** est bénéfique au confort du piéton comme le montre l'exemple des **arcades** sur la place du Capitole ou celui des **arbres** relativement denses sur la place Saint Georges. Certaines rues sont longuement exposées au soleil du fait de leur orientation Est-Ouest et peuvent

bénéficier de **dispositifs éphémères ou saisonniers de protection solaire (voiles, vélum, etc.)**. Dans les espaces ouverts très exposés au soleil, tels que la place du Capitole ou celle d'Esquirol, d'autres dispositifs pourront être expérimentés tel que l'**arrosage des chaussées**. Pour préserver l'effet d'îlot de fraîcheur que représente la zone de l'hypercentre, il est indispensable d'y limiter, de jour comme de nuit, les apports de chaleur anthropique, notamment par les rejets de **climatisation des commerces**. Enfin, la **ventilation naturelle** des zones proches de la Garonne et des Boulevards est à favoriser.

B - LES FAUBOURGS DE PREMIÈRE COURONNE

OBJECTIFS

- Favoriser le confort du piéton
- Minimiser l'apport solaire à l'intérieur des bâtiments
- Minimiser le réchauffement des espaces publics présentant un haut niveau de stress thermique
- Favoriser la ventilation naturelle des espaces

RECOMMANDATIONS

Les faubourgs de première couronne, développés du XVIII^e au XIX^e siècle, sont actuellement en pleine mutation et présentent une configuration du bâti très hétérogène tant du point de vue des orientations des rues que de la morphologie et de l'usage des bâtiments. Actuellement, ces secteurs peuvent présenter des niveaux de stress thermique très inconfortables pendant la journée, surtout en fin d'après-midi. Les rues orientées Nord-Sud auront alternativement et de façon naturelle un côté du trottoir ombragé par l'ombre portée des bâtiments. Du point de vue du confort à l'intérieur des bâtiments, les façades à l'Ouest sont longuement ensoleillées en été. Des logements traversants (pour favoriser la ventilation naturelle) portant des **protections solaires (casquettes, volets, débords de toiture, brise-soleil, pergolas, etc.) sont préconisés** pour limiter cet ensoleillement. Les rues orientées Est-Ouest ont une configuration plus favorable au regard du positionnement bioclimatique du bâtiment (car les murs sont moins exposés à ensoleillement direct), mais la chaussée et les trottoirs sont ensoleillés en oblique toute la journée.

Des **dispositifs d'ombrage**, au moins sur un côté du trottoir, sont donc à prévoir (**végétation haute, ombrières, arcades,...**). Le niveau de ventilation naturelle à l'intérieur du bâtiment traversant dépend du différentiel de température entre les deux côtés du bâtiment [2]. De ce point de vue, la **configuration en îlot** des faubourgs présente un potentiel intéressant pour le rafraîchissement dans la mesure où la **présence de végétation en cœur d'îlot** et le **caractère traversant des logements** génèrent des versants contrastés, l'un exposé aux fortes températures et l'autre plus frais, ce qui favorise la ventilation naturelle du logement.

À l'échelle du quartier, il peut-être intéressant de tirer profit des couloirs de ventilation d'air propre les plus proches (par exemple la Garonne, les canaux et plus généralement les espaces verts/espaces de nature) afin de prolonger leurs effets le plus loin possible en cœur de quartier. Pour cela, l'idée est de travailler l'**articulation du faubourg** à ces couloirs selon un principe de «**débordement**» **sur le quartier de la végétation et des espaces ouverts** qui les caractérisent.



C - LES CENTRES VILLES DES COMMUNES DE PREMIÈRE COURONNE

OBJECTIFS

- Réduire l'intensité de l'ICU des centres villes
- Réduire l'extension et la création de zones à basculement
- Renforcer la TVB et les couloirs de ventilation

RECOMMANDATIONS

Les centres villes des communes de première couronne sont, pour la plupart, exposés à un îlot de chaleur urbain fort. Les stratégies d'atténuation de la chaleur de jour comme de nuit (**végétalisation, minimisation de l'imperméabilisation des sols, optimisation de l'ombrage et des couloirs de ventilation**) s'appliquent sur ces secteurs. Les *zones à basculement* avec un ICU de +2°C qui entourent les centres villes et sont parfois très étendues, doivent faire l'objet d'une attention particulière en matière d'urbanisme afin de freiner la progression et l'intensification du phénomène. Ces secteurs bénéficient actuellement de l'effet rafraîchissant des **zones vertes et arborées** qui les entourent, ainsi que des **systèmes naturels de ventilation** que représentent les **vallées hydrographiques** et les **zones en hauteur** (coteaux par exemple). Des précautions doivent être prises pour ne pas altérer ce système naturel de rafraîchissement.

Ces systèmes naturels de ventilation devrait être considérés pour dégager des espaces nécessaires à leur respiration et à leur reconquête. À l'image des études aérauliques, la préservation et le renforcement des architectures naturelles doivent être intégrées en amont de chaque phase d'aménagement. Leurs objectifs seront d'éviter les réductions de densité (conservation des couverts végétaux et des successions des strates végétales) de limiter le fractionnement de ces systèmes vivants, d'intégrer les périmètres des secteurs à restaurer et donc de favoriser les effets de l'évaporation à diverses hauteurs et les effets de brise thermique.

D - LES ZONES COMMERCIALES ET D'ACTIVITÉ

OBJECTIFS

- Réduire l'appel aux systèmes de climatisation active
- Réduire les zones imperméabilisées et la consommation de foncier

RECOMMANDATIONS

Les zones commerciales et d'activité industrielle ont des caractéristiques très diverses en fonction de leur localisation et spécialisation (activités économiques/grands bureaux, grandes surfaces commerciales, zones industrielles...). Néanmoins, elles présentent des traits communs du point de vue de leurs caractéristiques urbanistiques et de leurs impacts sur le microclimat. Ces secteurs se caractérisent en effet par une forte artificialisation des espaces libres, qui sont consacrés essentiellement aux espaces de ventes et au stationnement. La typologie des bâtiments y est plutôt homogène, avec de larges superficies et de faibles hauteurs entraînant une consommation importante de foncier. Les matériaux utilisés contribuent aussi à rendre ces zones peu adaptées (tôles métalliques, grandes surfaces vitrées,...), il est donc essentiel de travailler sur la **protection solaire de ces bâtiments** (façades les plus exposées au soleil et toitures) mais aussi de **désimperméabiliser les**

espaces libres dévoués au stationnement, en gérant la fonction stationnement différemment (**parking silo avec façade végétalisée, parking intégré dans le bâtiment commercial**, etc.) pour recréer de la pleine terre et des surfaces favorables à la **plantation d'arbre**. Une **bande végétalisée** intermédiaire entre les bâtiments et les espaces libres imperméables doit être également mise en place pour limiter la surchauffe des bâtiments. Enfin, l'**ombrage des espaces libres** doit être développé en privilégiant la **végétation**.

Les nouvelles zones économiques doivent ainsi se réinventer pour rationaliser l'utilisation du foncier en **limitant l'extension au sol des bâtiments** et en créant ainsi de nouvelles formes urbaines plus mixtes, plus compactes et développant la densité verticale afin de faire la part belle à des **espaces libres végétalisés**.

E - ACTIONS À L'ÉCHELLE DU GRAND TERRITOIRE

À cette échelle qui correspond davantage à celle de la planification qu'à celle de l'aménagement, deux leviers d'action paraissent particulièrement pertinents :

- **Limiter l'artificialisation et l'imperméabilisation des sols qui accompagnent généralement le développement urbain. Éviter avant tout de consommer des espaces naturels et agricoles et privilégier le renouvellement urbain** permet de préserver une armature écologique solide et rend en effet le territoire plus résilient face au changement climatique et à l'érosion de la biodiversité. L'extension urbaine est donc à limiter en veillant de surcroît à la manière de la mettre en œuvre. En effet, toutes les formes d'extension urbaine n'ont pas le même effet sur le microclimat. En effet, l'extension en continu (ou en tâche d'huile) des zones déjà artificialisées intensifie l'ICU des zones urbaines existantes. Il convient donc de réduire l'impact de l'urbanisation en préservant et en intégrant à l'aménagement et à la forme urbaine les éléments naturels existants et susceptibles d'atténuer le phénomène d'ICU : boisements et autres milieux naturels, zones humides, entrées de ville vertes, terres agricoles... Bien pensés, ces espaces contribuent par ailleurs à consolider le réseau de Trame Verte et Bleue sur le territoire.
- **Favoriser la ventilation à grande échelle :** pour réaliser cet objectif, la préservation du confort climatique peut être pensée en analogie avec celle de la biodiversité, les deux objectifs étant parfaitement convergents. Pour cela, il convient de concevoir le développement urbain en l'accompagnant de zones de production d'air frais non pollué (équivalent des réservoirs de biodiversité). Ce seront ici les masses arborées, les espaces ouverts agricoles cultivés avec des pratiques durables. Et d'y associer les pentes des collines et les reliefs et de couloirs de transport d'air connectés à la géographie physique (équivalent des corridors écologiques). Ce seront ici les cours d'eau et leurs boisements de berges – ripisylves –, ainsi que les vallées, en particulier lorsqu'ils sont orientés dans le sens des vents dominants. Ces espaces de ventilation peuvent également constituer des ouvertures paysagères qualitatives pour le territoire.

4

LES OUTILS DE SUIVI- MONITORING DU CLIMAT URBAIN

Afin d'enrichir sa compréhension du climat local, la collectivité a mis en place un réseau d'observation en temps réel des conditions microclimatiques, Monitoring de l'ICU (Fig7).

Ce réseau dense de stations vient renforcer et affiner les observations du réseau national de stations météorologiques de Météo-France qui dispose de deux stations sur le périmètre de la métropole (aéroports de Blagnac et Franczal). L'objectif est, d'une part, d'observer l'évolution des conditions microclimatiques en fonction de l'évolution de l'urbanisation, et, d'autre part, de servir de support pour le développement de services climatiques au sein de la collectivité. Les données et cartographies issues de ce réseau seront disponibles sur l'open data de Toulouse Métropole.

Le monitoring de l'ICU consiste en un recueil simultané et continu de la température de l'air sur de nombreux points précis et choisis de la métropole. Chaque point représente en effet une particularité territoriale : le relief, les formes bâties, la végétation sont tout autant de critères déterminants pour sélectionner des sites.

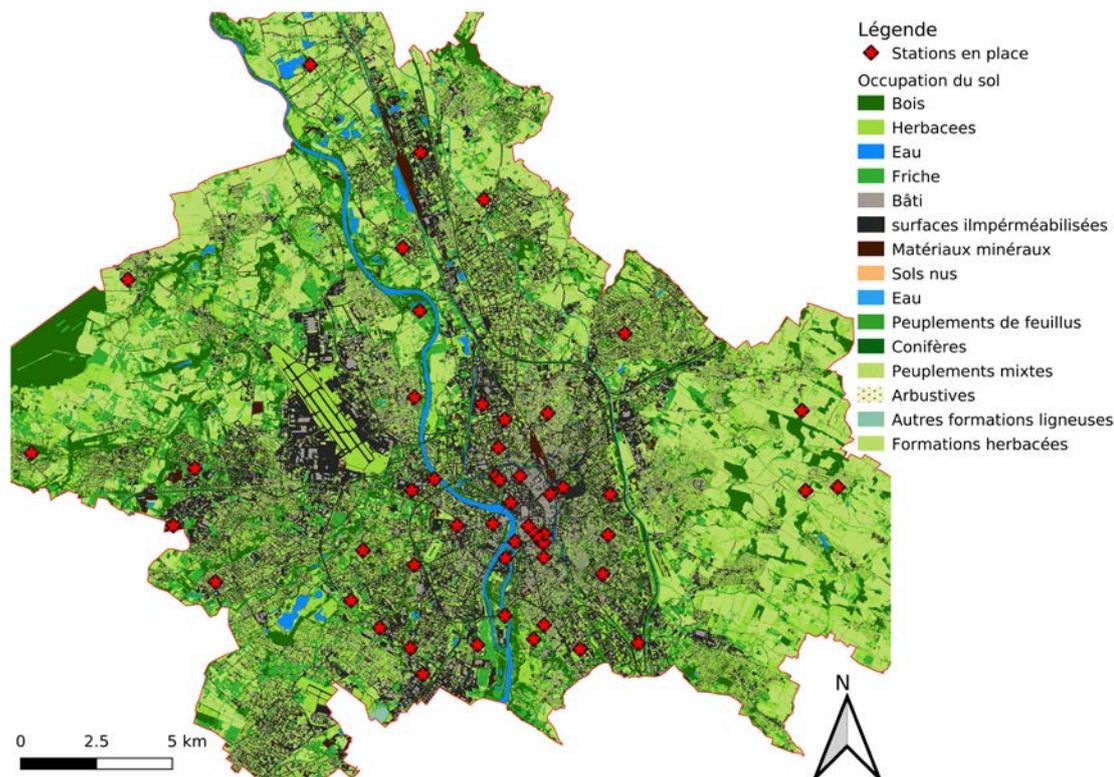


Fig. 7 Emplacement des stations météo sur la métropole et occupation du sol (Guillaume Dumas, QGIS 3, 2020)

Aujourd'hui, le réseau comporte plusieurs dizaines de stations réparties sur les communes de la métropole (Figure 8 des emplacements du réseaux). Son déploiement est réalisé par phases. Chaque emplacement se compose d'une suite matérielle et logicielle complète. Chaque station mesure de surcroît l'humidité, la force et la direction moyenne du vent ainsi que la pression.

Pour compléter ce réseau, une campagne mobile de mesures de la température de l'air a été réalisée en partenariat avec Météo France sur la Métropole.

À l'aide de ces capteurs, il est possible de dresser des cartes en temps réel de la température de l'air à l'échelle de la Métropole. Ces cartes sont réalisées en croisant les données des capteurs, l'occupation du sol et le relief ce qui permet de visualiser l'intensité de l'ICU.

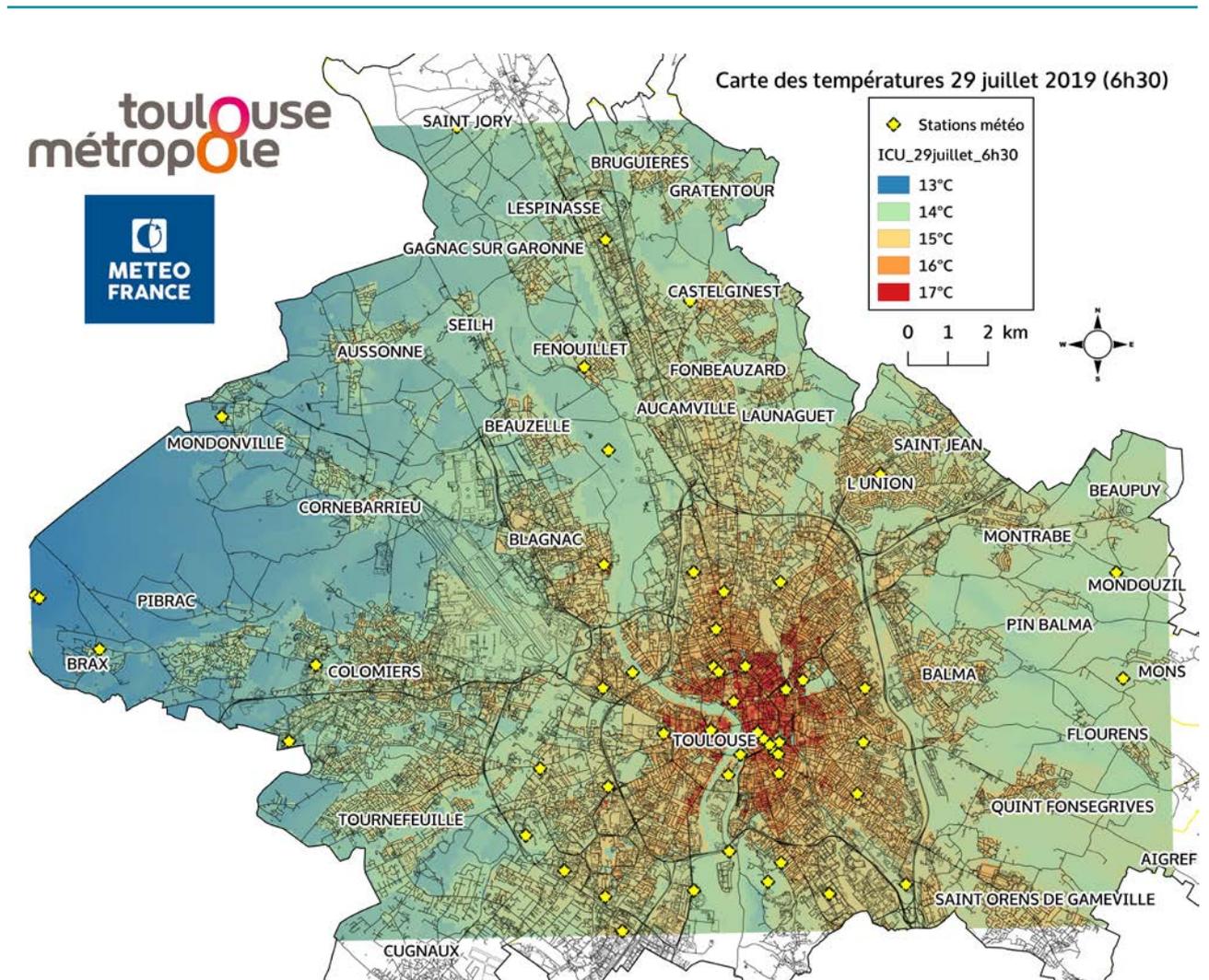


Fig. 8 Carte des températures le 29 juillet 2019 à 6h30 (Guillaume Dumas, QGIS 3, 2020)

5

14 QUESTIONS

en lien avec le micro-climat urbain et
préalables à tout projet d'aménagement
ou de planification urbaine

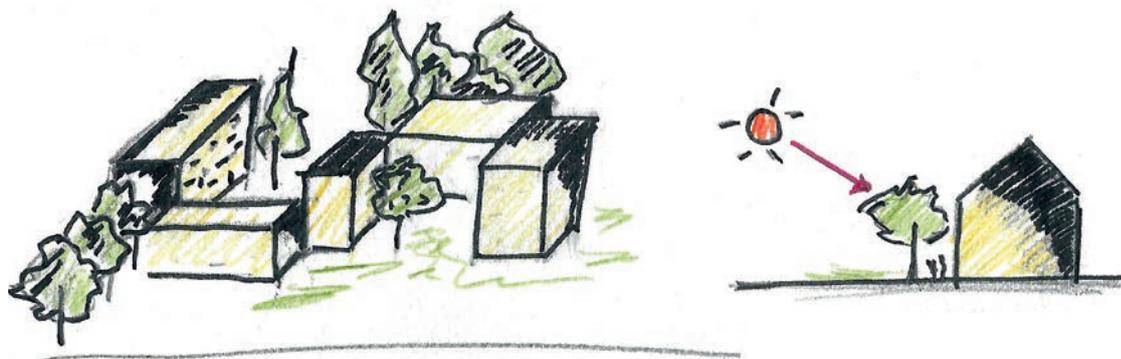
ÉTAT INITIAL DU SITE (OBJECTIFS ÉVITER) : QUELS SONT LES ESPACES RÉGULATEURS THERMIQUES À PRÉSERVER POUR L'AMÉNAGEMENT DE VOTRE ESPACE ?

1. Quelles sont les masses végétales arborées en place et quel est leur rôle régulateur ?
2. Quels sont les sols vivants (espaces de pleine terre) à préserver de l'artificialisation pour constituer des espaces de régulation (infiltration, rafraîchissement, biodiversité) ?
3. Quelles sont les entités hydrographiques (cours d'eau, fossés, pièces d'eau,...) et /ou zones humides dont il faut préserver les fonctionnalités écologiques et notamment le rôle pour le microclimat urbain ?
4. Quelles sont les conditions de ventilation liées à la topographie du site, aux couloirs de ventilation ainsi que les brises thermiques plus localisées.
5. L'espace à aménager est-il soumis à une forte intensité de l'ICU ou à un fort stress thermique en journée ?



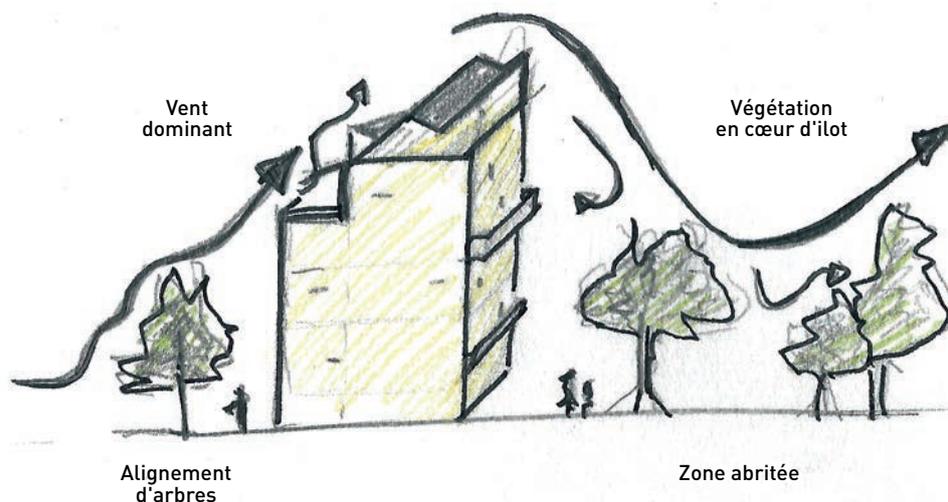
INCIDENCE CLIMATIQUE DU PROJET D'AMÉNAGEMENT (OBJECTIFS RÉDUIRE) : QUELLES SONT LES ACTIONS MISES EN PLACE POUR AMÉLIORER LE CONFORT THERMIQUE DE LA ZONE ?

6. La végétation prévue est-elle dans des conditions optimales pour permettre un bon rafraîchissement : emplacement, volumétrie, condition de croissance, essence, accès à l'eau, ... ?



Rompres la monotonie d'un linéaire trop important de façades

7. Les espaces verts de pleine terre prévus sont-ils majoritairement d'un seul tenant (cœur d'îlots) et non des espaces résiduels ?
8. Quelles sont les formes urbaines (espaces libres, construits) favorisant l'ombrage en été des façades exposées au sud et des circulations ?
9. Les formes urbaines (espaces construits et espaces libres) permettent-elles de créer des différentiels de température favorables à la création de brises thermiques ?



10. La configuration de l'aménagement vient-elle bloquer la circulation des brises naturelles existantes ?

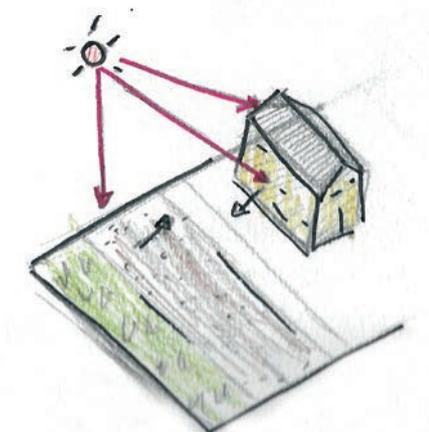


11. Le cheminement de l'eau (cours d'eau, ruissellement) est-il toujours en capacité d'absorber les cumuls de précipitations et de rafraîchir ?

12. Les espaces libres aménagés favorisent-ils l'infiltration de l'eau et spécifiquement les aires de stationnement ouvertes ?



13. Les matériaux de façade et de surface permettent-ils de réduire le stockage thermique en journée ?



14. Les bâtiments sont-ils traversants (N-S) pour permettre une bonne aération ? et les conditions acoustiques extérieures permettent-elles d'ouvrir les fenêtres la nuit pour rafraîchir l'intérieur ?



CONTACT

Toulouse Métropole
6 rue René Leduc
BP 35821
31505 Toulouse Cedex 5
Tél : 05 81 91 72 00



DR



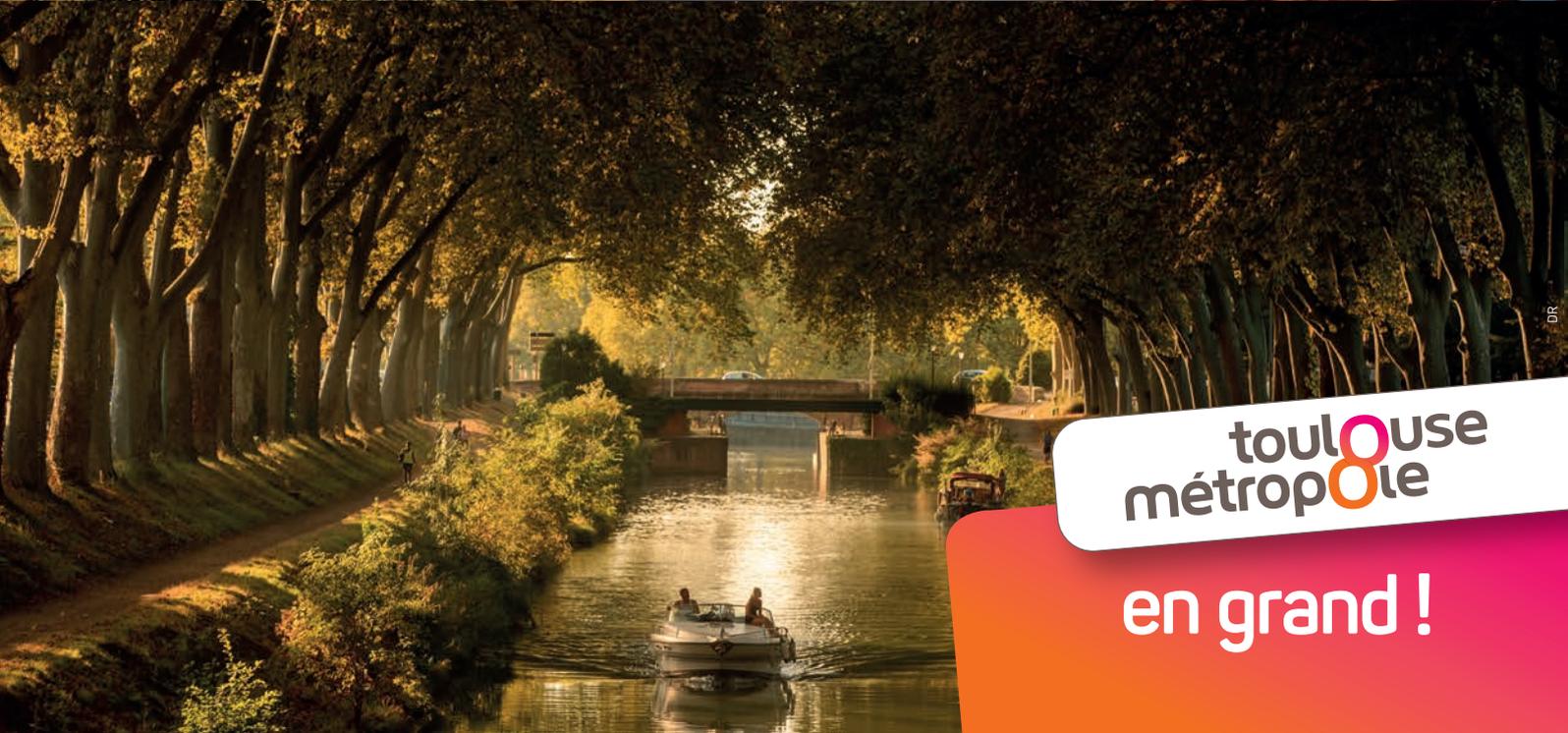
DR



DR



DR



DR

toulouse
métropole

en grand !